

国家铁路局关于发布铁道行业标准的公告

(工程建设标准 2017 年第 2 批)

国铁科法〔2017〕3 号

现公布《铁路桥涵设计规范》(TB 10002—2017)、《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10091—2017)、《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10092—2017)和《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10093—2017)4 项行业标准,自 2017 年 5 月 1 日起实施。《铁路桥涵设计基本规范》(TB 10002.1—2005)、《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10002.2—2005)、《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB 10002.3—2005)、《铁路桥涵混凝土和砌体结构设计规范》(TB 10002.4—2005)和《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—2005)同时废止。

本标准由中国铁道出版社出版发行。

国家铁路局

2017 年 1 月 2 日

国家铁路局信息公开
浏览专用

前 言

《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10002.2—2005 发布以来,我国铁路尤其高速铁路建设取得了举世瞩目的成就,京沪、京广、郑西、哈大等高速铁路,宜万、太中银等客货共线铁路,山西中南部通道、蒙华等重载铁路,珠三角及武汉城市圈城际铁路等大批铁路项目相继建成通车,完善了路网结构,增加了铁路运输服务的有效供给。经过十多年的积极探索和创新实践,我国铁路桥梁建造技术取得重大突破,已跻身世界先进行列。南京大胜关长江大桥、武汉天兴洲长江大桥等一批深水、大跨、特殊地质条件、复杂结构形式桥梁的成功建设,自主研发的大吨位箱梁成套技术的广泛应用,为进一步完善铁路桥梁技术标准积累了丰富经验,奠定了坚实基础。

本规范是根据国家铁路局构建铁路工程建设标准体系的要求,为满足铁路桥梁建设和发展需要,统一铁路桥梁钢结构设计标准,提高铁路桥梁钢结构设计水平,保障铁路桥梁钢结构安全与质量,在原规范的基础上,总结近年来我国高速铁路、城际铁路、客货共线和重载铁路桥梁钢结构建设、运营的实践经验和科研成果,全面修订而成。

本规范贯彻落实了安全优先的原则,强化了质量安全、节约资源以及保护环境等要求,注重总体设计,并结合我国国情、社会经济发展水平、环境条件等因素,合理确定了不同运输性质类型、不同速度等级铁路桥梁钢结构的主要设计标准,进一步提升了规范的科学性和技术经济合理性。近年来我国铁路钢桥设计领域涌现了一大批新材料、新结构、新工艺,包括 Q500q 钢新材料的采用,

全焊节点及整体钢桥面板的应用,千米级铁路斜拉桥及悬索桥的建设等,本规范在总结、吸纳上述先进成果和成熟经验的基础上修订而成。

本规范由 10 章组成,包括总则,术语和符号,材料及基本容许应力,结构内力计算,杆件的计算长度、长细比和构件截面,构件连接,桥面系及联结系,钢板梁,钢桁梁,支座等,另有 5 个附录。

本次修订的主要技术内容如下:

1. 修订了规范适用范围,适用于高速铁路、城际铁路、客货共线Ⅰ级和Ⅱ级铁路、重载铁路桥梁结构设计。

2. 增加了 Q500q 钢种的相关规定。

3. 结合国家标准《桥梁用结构钢》的修订,修订了钢梁主体结构用钢种的相关规定。

4. 修订了焊接接头(包括焊缝金属和热影响区)冲击韧性的设计要求。

5. 增加 17 种构造细节的疲劳抗力;补充规定了同时承受轴向应力和弯曲次应力杆件的疲劳作用应力幅计算办法。

6. 将双线系数拓展形成多线系数;补充了高速铁路、城际铁路的疲劳损伤修正系数;应力比修正系数表中增加了应力比比值的范围。

7. 增加了带加劲肋的箱形压杆稳定的相关规定。

8. 增加了钢桁梁整体钢桥面结构的桥面板翼缘有效宽度的相关规定。

9. 增加了板桁组合结构考虑温度变化的不同步性对结构的影响的相关规定。

在执行本规范过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见和有关资料寄交中铁大桥勘测设计院集团有限公司(武汉市经济技术开

发区博学路 8 号, 邮政编码: 430056), 并抄送中国铁路经济规划研究院(北京市海淀区北蜂窝路乙 29 号, 邮政编码: 100038), 供今后修订时参考。

本规范由国家铁路局科技与法制司负责解释。

主编单位: 中铁大桥勘测设计院集团有限公司

参编单位: 中国铁道科学研究院

中铁工程设计咨询集团有限公司

主要起草人: 徐 伟、张玉玲、徐升桥、刘汉顺、杜 萍、高静青、高 策、王志平、唐贺强、谢 馨、张成东、徐科英、崔 鑫、王 丽、陶晓燕、金 令、赵体波。

主要审查人: 王召祐、吴少海、陈良江、杨梦蛟、刘 燕、薛吉岗、殷宁骏、刘 椿、赵会东、杨鹏健、杨彦海、陈克坚、鄢 勇、王新国、瞿国钊、桂 婵、毛伟琦、涂满明、胡广瑞。

本规范的历次版本发布情况:《铁路桥涵设计规范》TBJ 2—85; TBJ 2—96;《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10002.2—99; TB 10002.2—2005。

国家铁路局信息公开
浏览专用

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	3
3	材料及基本容许应力	6
3.1	基本材料	6
3.2	基本容许应力	8
4	结构内力计算	26
4.1	结构内力计算原则	26
4.2	强度及稳定计算	26
4.3	疲劳计算	29
5	杆件的计算长度、长细比和构件截面	34
5.1	杆件的计算长度	34
5.2	杆件的容许最大长细比	36
5.3	构件截面	38
6	构件连接	43
6.1	机械连接	43
6.2	焊接连接	46
7	桥面系及联结系	48
7.1	桥 面 系	48
7.2	联结系的设置	52
8	钢 板 梁	56

9 钢 桁 梁	58
10 支 座	60
附录 A 铁路桥梁用钢主要技术指标	61
附录 B 横梁面内闭合框架在横梁受竖向荷载时的结点 弯矩计算	64
附录 C 单线简支钢桁梁的纵、横梁由于弦杆变形引起的 内力计算	66
附录 D 焊接接头超声波探伤质量要求	68
附录 E 焊缝外观质量要求	70
本规范用词说明	72
《铁路桥梁钢结构设计规范》条文说明	73

1 总 则

1.0.1 为贯彻国家有关法规和铁路技术政策,统一铁路桥梁钢结构设计技术标准,使铁路桥梁钢结构设计符合安全可靠、先进成熟、经济适用、保护环境的要求,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于高速铁路、城际铁路、客货共线Ⅰ级和Ⅱ级铁路、重载铁路铆接、栓焊及全焊桥梁钢结构的设计。公、铁两用桥中单独承受公路荷载的钢结构应按现行的公路行业相关标准进行设计。

1.0.3 铁路桥梁钢结构应具有规定的强度、刚度、稳定性和耐久性,主体结构设计使用年限应为 100 年。

1.0.4 采用本规范设计时,尚应符合现行《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的规定。

1.0.5 钢结构的构件设计宜标准化,使同型构件能互换。结构应便于加工、运输、安装、检查和养护。

1.0.6 桥跨结构应设预拱度,预拱度曲线宜与恒载和半个静活载产生的挠度曲线形状基本相同,但方向相反。由恒载和静活载所引起的竖向挠度不大于桥梁跨度的 $1/1600$ 时,可不设置预拱度。

1.0.7 桥跨结构在计算荷载的最不利组合作用下,横向倾覆稳定系数不应小于 1.3。

1.0.8 钢梁应能适应千斤顶将其顶起。起顶设施及结构本身都应按起顶荷重 1.3 倍检算。

1.0.9 曲线上线路中心有偏移的桥以及其他有偏心荷载的桥应计算偏载对桥跨结构的影响。

1.0.10 铁路桥梁钢结构设计除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 简支梁 simply supported beam

一端为纵向活动支座,一端为纵向固定支座的两端支承的梁。

2.1.2 连续梁 continous beam

两跨或两跨以上梁部连续,由支座支承的梁。

2.1.3 桁架 truss

由若干杆件构成的一种平面或空间的格架式结构或构件,各杆件主要承受各种作用产生的轴向力,有时也承受节点弯矩和剪力。

2.1.4 钢梁 steel beam

以钢材作为主要建筑材料的梁。

2.1.5 强度 strength

材料或构件受力时抵抗破坏的能力。

2.1.6 刚度 stiffness; rigidity

结构或构件抵抗变形的能力。

2.1.7 变形 deformation

作用引起的结构或构件中各点间的相对位移。

2.1.8 挠度 deflection

在弯矩作用平面内,结构构件轴线或中面上某点由挠曲引起垂直于轴线或中面方向的线位移。

2.1.9 预拱度 camber

为抵消桥跨结构在荷载作用下产生的挠度,而在制作时所预留的与挠度方向相反的校正量。

2.1.10 主桁(主梁) main truss(main beam)

在上部结构中,支承各种荷载并将其传递至墩、台的桁(梁)。

2.1.11 横梁 cross girder

在钢梁结构中,沿桥轴横向设置并支撑于主梁或主桁上的梁。

2.1.12 纵梁 stringer

在钢梁结构中,沿桥轴向设置并支承于横梁上的梁。

2.1.13 桥面系 bridge floor system

支撑桥面荷载并传递给主梁的桥面结构。

2.1.14 明桥面 open steel grid floors

不铺设道砟,在纵梁或主梁上直接铺设桥枕的桥面。

2.1.15 支座 bearing

支撑上部结构并使上部结构固定于一定位置的部件,可根据其材料、变形形态或形状进行分类。按支座所用材料,可分为橡胶支座、钢支座、聚四氟乙烯支座等;按变形形态,可分为滑动支座、固定铰支座等;按形状,可分为弧形支座、球形支座等。

2.1.16 应力幅 stress range

构件或连接的最大应力与最小应力的代数差。

2.1.17 疲劳容许应力幅 allowable stress range for fatigue design

构件或连接在 2×10^6 次应力循环下的疲劳强度。

2.1.18 运营动力系数 service impact factor

疲劳检算时构件或连接的动力系数。

2.1.19 损伤修正系数 damage correction factor

与疲劳容许应力幅相匹配,将设计荷载效应转化为桥梁设计使用年限内运营荷载疲劳累积损伤效应的系数。

2.1.20 超声波锤击 ultrasonic hammering

利用超声波设备对构件连接的焊趾表面进行强化的方法。

2.2 符 号

2.2.1 外力和内力

N ——轴向力(kN)
 M ——弯矩(kN·m)
 V ——剪力(kN)
 P ——高强度螺栓的容许抗滑承载力(kN)

2.2.2 应力

$[\sigma]$ ——钢材轴向容许应力(MPa)
 $[\sigma_w]$ ——钢材弯曲容许应力(MPa)
 $[\sigma_e]$ ——构件或连接的疲劳容许应力幅(MPa)
 $[\tau]$ ——钢材剪切容许应力(MPa)
 E ——钢材弹性模量(MPa)
 G ——钢材剪切模量(MPa)
 σ ——法向应力(MPa)
 τ ——剪应力(MPa)

2.2.3 几何特性

L_0 ——构件计算长度(m)
 A ——截面积(m²)
 I ——截面惯性矩(m⁴)
 S ——面积矩(m³)
 λ ——构件长细比
 r_x, r_y ——构件截面对 $x-x$ 轴及 $y-y$ 轴的回转半径(m)
 B ——两主梁(或主桁)间的中心距(m)
 h ——构件的高度(m)
 b ——构件的宽度(m)
 h_f ——焊脚尺寸(mm)

2.2.4 计算系数

μ_f ——活载冲击力的动力系数
 μ_e ——高强度螺栓连接的钢材表面抗滑移系数
 f ——活动支座的摩擦系数
 φ_1 ——中心受压杆件轴向容许应力的折减系数

φ_2 ——构件只在一个主平面受弯时的容许应力折减系数
 C ——构件斜弯曲作用下容许应力增大系数
 m ——高强度螺栓连接处的抗滑面数
 k ——安全系数

国家铁路局信息公开
浏览专用

3 材料及基本容许应力

3.1 基本材料

3.1.1 铁路钢桥的基本钢材应根据最低设计温度选取满足桥梁设计要求的化学成分、力学性能、工艺性能及焊接性能,并应符合表 3.1.1 的规定。最低设计温度为桥址处历年极端最低气温减 5℃。

表 3.1.1 铁路钢桥的基本材料

名 称		钢材牌号	质量等级	应符合的标准
钢梁主体结构		Q235q	D 级	现行《桥梁用结构钢》GB/T 714、 实物交货技术条件见附录 A。 钢板在厚度方向承受拉力时,应 对钢板厚度方向性能作出要求,符 合现行国标《厚度方向性能钢板》 GB/T 5313 的相关规定
		Q345q	D、E 级	
		Q370q	D、E 级	
		Q420q	D、E 级	
		Q500q	D、E 级	
桥梁辅助结构		Q235 B、Z		现行《碳素结构钢》GB/T 700
连接型钢		Q345C		现行《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
铆钉		B1.2(铆螺 2) B1.3(铆螺 3)		现行《标准件用碳素钢热轧圆钢 及盘条》GB/T 715
螺栓	精制 螺栓	B1.2(铆螺 2) B1.3(铆螺 3)		现行《标准件用碳素钢热轧圆钢 及盘条》GB/T 715
	粗制 螺栓	B1.2(铆螺 2) B1.3(铆螺 3)		现行《标准件用碳素钢热轧圆钢 及盘条》GB/T 715

续表 3.1.1

名 称		钢材牌号	质量等级	应符合的标准
螺栓	高强螺栓	20MnTiB(20 锰钛硼)		现行《合金结构钢》GB/T 3077
		35VB(35 钒硼)		现行《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 中附录 A
	螺母及垫圈	35、45 15MnVB(15 锰钒硼)		现行《优质碳素结构钢》GB/T 699
铸件(支座的上摆、下摆、摇轴、座板等)		ZG230-450 II (铸钢 230-450 II) ZG270-500 II (铸钢 270-500 II)		现行《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352
销、铰、辊轴		35 号锻钢		现行《优质碳素结构钢》GB/T 699
圆钢吊杆		35CrMo		现行《合金结构钢》GB/T 3077

注:经过试验取得充分依据,也可采用符合桥跨结构要求的其他钢材。

3.1.2 高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈应符合现行国家标准 GB/T 1228~1231 的规定。

3.1.3 焊接性能应与基材相匹配,选用的焊接材料、焊接工艺均应根据设计要求通过焊接工艺评定。

3.1.4 铁路钢桥焊接接头(包括焊缝金属和热影响区)根据桥址处的最低设计温度取得的冲击韧性数值不应低于表 3.1.4 的规定。

表 3.1.4 焊接接头冲击韧性

钢材牌号	Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
试验温度(℃)	当最低设计温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 时,取 10°C 当 $10^{\circ}\text{C} >$ 最低设计温度 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 时,取 20°C 当 $20^{\circ}\text{C} >$ 最低设计温度 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 时,取 30°C 当 $30^{\circ}\text{C} >$ 最低设计温度 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 时,取 40°C			

续表 3.1.4

钢材牌号		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
冲击 韧性 (J)	整体节点的焊接接头	34	41	47	54
	散装节点垂直于应力方向的熔透对接焊、T形角焊、棱角焊焊接接头	34	41	47	54
	散装节点顺应力方向未熔透的 T 形角焊缝、棱角焊缝	29	35	40	45

注：当结构对断裂性能有特殊要求时，其焊接接头冲击韧性可另行规定。

3.1.5 涂装材料应符合现行《铁路钢桥保护涂装及涂料供货技术条件》TB/T 1527 的规定。

3.1.6 钢材的弹性系数可按照表 3.1.6 的规定确定。

表 3.1.6 钢材弹性系数

弹性模量 $E(\text{MPa})$	剪切模量 $G(\text{MPa})$	泊松比 ν
2.1×10^5	8.1×10^4	0.3

3.2 基本容许应力

3.2.1 钢材的基本容许应力应按照表 3.2.1 的规定确定。

3.2.2 焊缝基本容许应力宜与基材相同，且不应大于基材的容许应力。

3.2.3 高强度螺栓预拉力的设计值应根据高强度螺栓的螺纹直径、性能等级按表 3.2.3 的规定确定。

3.2.4 采用抗滑型高强度螺栓连接时，设计抗滑移系数应采用 0.45。

3.2.5 铆钉及精制螺栓容许应力应按表 3.2.5 的规定确定。

3.2.6 检算中心受压杆件的总稳定性时，其轴向容许应力的折减

系数 φ_1 可根据钢种按表 3.2.6 的规定确定。

3.2.7 各种构件或连接的疲劳容许应力幅,应按表 3.2.7—1 的规定确定,各种构件或连接基本形式及疲劳容许应力幅类别应符合表 3.2.7—2 的规定。

表 3.2.1 基本容许应力

序号	应力种类	单位	钢材牌号							
			Q235qD	Q345qD Q345qE	Q370qD Q370qE	Q420qD Q420qE	Q500qD Q500qE	ZG230 -450II	ZG270 -500II	35 号 锻钢 35CrMo
1	轴向应力 $[\sigma]$	MPa	135	200	210	240	285			220
2	弯曲应力 $[\sigma_w]$	MPa	140	210	220	250	300	125	150	230
3	剪应力 $[\tau]$	MPa	80	120	125	145	170	75	90	130
4	端部承压(磨光顶紧)应力	MPa	200	300	315	360	425			
5	销孔承压应力	MPa								180
6	辊轴(摇轴)与平板自由接触的径向受压	kN/cm						0.55d	0.61d	0.60d

续表 3.2.1

序号	应力种类	单位	钢材牌号							
			Q235qD	Q345qD Q345qE	Q370qD Q370qE	Q420qD Q420qE	Q500qD Q500qE	ZG230 -450II	ZG270 -500II	35 号 锻钢
7	铰轴放置在铸钢铰轴颈上的径向受压	kN/cm								35CrMo 8.4d

注:1 表列的 Q235qD、Q345qD、Q345qE 容许应力是同 GB/T 714 中板厚 $t \leq 50$ mm 的屈服强度相对应;当 $t > 50$ mm 时,容许应力可按屈服点的比例予以调整。

2 辊轴(摇轴)与接触的平板用不同钢种时,径向受压容许应力应采用其较低者。

3 表中符号 d 为辊轴、摇轴或铰轴的直径,以厘米计。

4 序号 2 中直接搁置桥枕的桥面系纵梁的弯曲容许应力 $[\sigma]$ 采用 $[\sigma]$ 。

5 序号 7 系按接触圆弧中心角为 $2 \times 45^\circ$ 考虑;条件不符时可另行确定。

6 35CrMo 只适用于吊杆。

表 3.2.3 高强度螺栓预拉力设计值(kN)

螺栓直径	M22	M24	M27	M30
性能等级	10.9S			
预拉力设计值	200	230	300	370

注:高强度螺栓用于列车建筑限界上方范围内的桥面系及连接系时,预拉力设计值可适当降低。

表 3.2.5 铆钉及精制螺栓容许应力(MPa)

类 别	受力种类	容许应力
工厂铆钉	剪切	110
	承压	280
工地铆钉	剪切	100
	承压	250

续表 3.2.5

类 别	受力种类	容许应力
精制螺栓	剪切	90
	承压	220

注:1 平头铆钉的容许应力应降低 20%。

2 铆钉计算直径为铆钉孔的公称直径。

3 精制螺栓直径最多比栓孔直径小 0.3 mm。

4 本表适用于 B1.2,当采用 B1.3 时,容许应力可提高 10%。

表 3.2.6 中心受压杆件轴向容许应力折减系数 φ_1

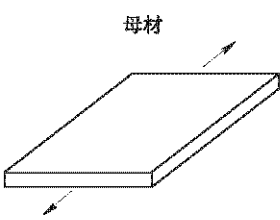
焊接 II 形杆件 (检算翼缘板平面内整体稳定)					焊接 II 形杆件(检算腹板平面内 整体稳定)、焊接箱形及铆钉杆件				
杆件 长细 比 λ	φ_1				杆件 长细 比 λ	φ_1			
	Q235q	Q345q Q370q	Q420q	Q500q		Q235q	Q345q Q370q	Q420q	Q500q
0~30	0.900	0.900	0.866	0.837	0~30	0.900	0.900	0.885	0.867
40	0.864	0.823	0.777	0.729	40	0.876	0.867	0.831	0.810
50	0.808	0.747	0.694	0.644	50	0.845	0.804	0.754	0.718
60	0.744	0.677	0.616	0.564	60	0.792	0.733	0.665	0.632
70	0.685	0.609	0.541	0.496	70	0.727	0.655	0.582	0.546
80	0.628	0.544	0.471	0.426	80	0.660	0.583	0.504	0.461
90	0.573	0.483	0.405	0.368	90	0.598	0.517	0.434	0.396
100	0.520	0.424	0.349	0.319	100	0.539	0.454	0.371	0.330
110	0.469	0.371	0.302	0.272	110	0.487	0.396	0.319	0.280
120	0.420	0.327	0.258	0.231	120	0.439	0.346	0.275	0.238
130	0.375	0.287	0.225	0.201	130	0.391	0.298	0.235	0.202
140	0.338	0.249	0.194	0.168	140	0.346	0.254	0.200	0.172
150	0.303	0.212	0.164	0.138	150	0.304	0.214	0.166	0.143

表 3.2.7—1 各种构件或连接的疲劳容许应力幅

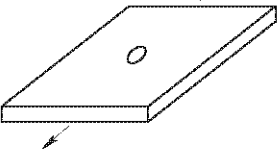
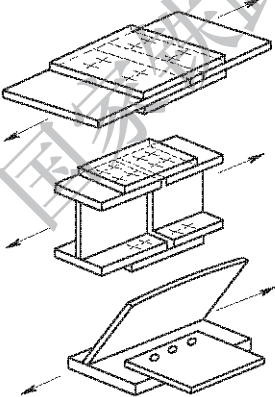
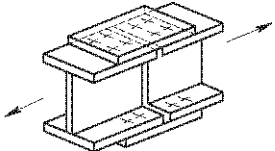
疲劳容许应力幅类别	疲劳容许应力幅 $[\sigma_0]$ (MPa)	构件及连接形式
I	149.5	1
II	130.7	4, 2
III	121.7	5, 1, 5, 2, 5, 3
IV	114.0	2, 18
V	110.3	6, 1, 6, 2, 6, 3, 6, 4, 6, 5, 7, 1, 7, 2
VI	109.6	4, 1
VII	99.9	9, 15, 9
VIII	91.1	3
IX	80.6	8, 1
X	72.9	11, 1, 14, 15, 7
XI	71.9	8, 2, 10, 12, 15, 2, 15, 3, 15, 8, 16
XII	60.2	11, 2, 13, 1, 15, 1, 15, 4, 15, 6
XIII	60.2	13, 2
XIV	45.0	15, 5, 17

注:当桥梁设计温度低于 -40°C 时,需对材料进行相应的低温脆断性能试验,并对表列疲劳容许应力幅做相应的折减。

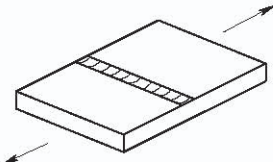
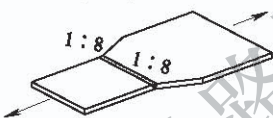
表 3.2.7—2 构件或连接基本形式及疲劳容许应力幅类别

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
1	 母材	原轧制表面,侧边刨边,表面粗糙度不应大于 $\sqrt{25}$;精密切割表面粗糙度不应得大于 $\sqrt{12.5}$;不应在母材上引弧	I	非连接部位的母材

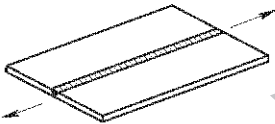
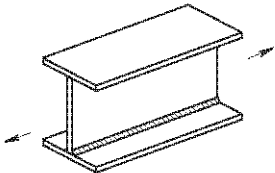
续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
2	留有空孔的杆件 	机械钻孔,孔壁光滑,表面粗糙度不应大于 $\frac{25}{\sqrt{}}$	IV	弦杆泄水孔处
3	铆接构件	机械钻孔,表面粗糙度不应大于 $\frac{25}{\sqrt{}}$	VIII	铆钉孔处净截面
4	高强度螺栓			
4.1		(1)单面或双面拼接,第一排螺栓无滑移。 (2)直接拼接断面超过 60% 总断面积的双面拼接对称接头。 (3)不传递验算方向应力的有高强度螺栓紧固的基材	VI	栓接毛截面处
4.2		(1)单面或双面拼接,经检算第一排螺栓受力大于抗滑力。 (2)非全断面拼接的构件,直接拼接断面小于 60% 总断面	II	栓接净截面处

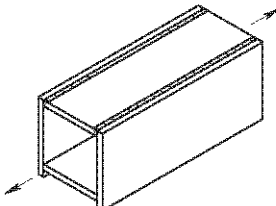
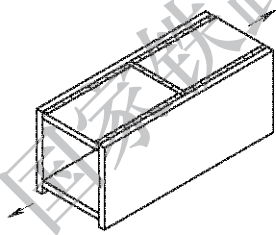
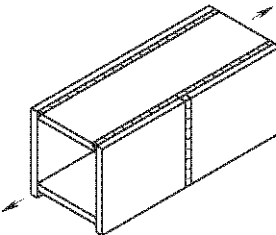
续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
5	横向对接熔透焊缝	(1) 采用埋弧自动焊时焊缝质量应满足以下要求: ① 定位焊接不应有裂缝、焊渣、焊瘤等缺陷。 ② 焊缝背面应清除影响焊接的焊瘤、熔渣和焊根等缺陷。 ③ 多层焊的每一层应将焊渣、缺陷清除干净再焊下一层。 ④ 应在距杆件端部 80 mm 以外的引板上起、熄弧。	Ⅲ	桁梁构件及板梁中横向对接焊缝处
5.1	等厚等宽钢板对接 	(2) 焊缝加强高顺受力方向磨平, 焊趾处不留横向磨痕。 (3) 焊缝需应经无损探伤检验, 焊缝质量符合附录 D 中Ⅰ级焊缝的要求。		
5.2	等厚不等宽钢板对接 	(4) 横向对接焊缝应一次连续施焊完毕, 不应有断弧, 如发生断弧, 应将断弧处已焊成的焊缝刨成 1:5 斜坡后再继续搭接 50 mm 后施焊。		
5.3	等宽不等厚钢板对接 	(5) 同一位置焊接返修次数不应超过二次		
6	纵向焊缝	(1) 采用埋弧焊、气体保护焊。 (2) 焊缝应平整连续。 (3) 受拉及受疲劳控制的杆件, 焊缝全长超声波探伤。焊缝质量应符合附录 D 中Ⅱ级焊缝要求。 (4) 受压及不受疲劳控制的杆件, 探伤范围从杆端至工地栓孔外 1 m。焊缝质量应符合附录 D 中Ⅱ级焊缝要求。 (5) 同一位置焊接返修不应超过二次		

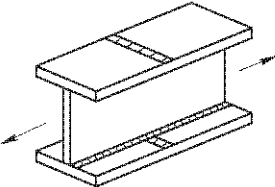
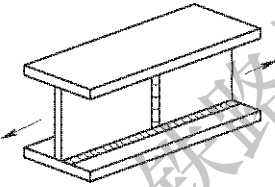
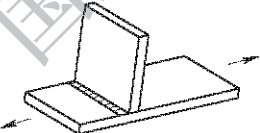
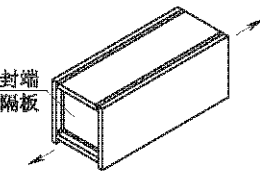
续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
6.1	纵向连续对接焊缝 	(1) 焊缝应一次连续施焊完毕,如果特殊情况而中途停焊时,焊前、焊后应处理。用原定预热温度及施焊工艺继续施焊。焊缝表面要顺受力方向磨修平整,不应有超出附录 F 中规定的凹凸不平现象。 (2) 焊缝两侧不应有大于 0.3 mm 的咬边或直径大于等于 1 mm 的气孔。小于 1 mm 的气孔,每米不应多于 3 个,间距不应小于 20 mm。 (3) 埋弧自动焊应在距杆件端 80 mm 以外的引板上起、熄弧	V	(1) 工字形、箱形、T 形构件、板梁翼缘及纵向加劲肋等处的纵向角焊缝,或棱角焊缝。
6.2	工字形连续角焊缝 	(1) 焊缝应一次连续施焊完毕,如果特殊情况而中途停焊时,焊前、焊后应处理,并采用原定预热温度及施焊工艺继续施焊。 (2) 纵向角焊缝的咬肉不应大于 0.3 mm,不应有直径大于等于 1 mm 的气孔。直径小于 1 mm 的气孔,每米不应多于 3 个,间距不应小于 20 mm。 (3) 埋弧自动焊应在距杆件端 80 mm 以外的引板上起、熄弧		

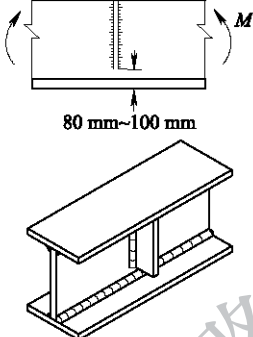
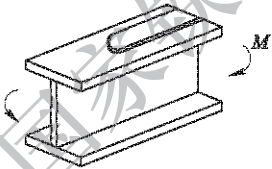
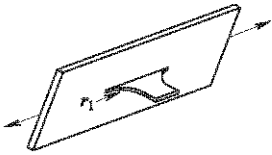
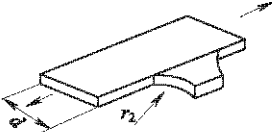
续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
6.3	箱形构件棱角焊缝 	(1) 焊缝应一次连续施焊完毕,如果特殊情况而中途停焊时,焊前、焊后应处理,并采用原定预热温度及施焊工艺继续施焊。 (2) 一根杆件有不同的熔深时,如系焊缝表面高相同,则深熔深的焊缝起弧应在距杆端 80 mm 以外的引板上,在施焊上一层焊缝前应将前一道焊缝停弧处的缺陷清除干净,清除长度不应小于 60 mm。坡口深度变化过渡区的斜坡不应大于 1:10。最后一道焊缝应在距杆端 80 mm 以外的引板起、熄弧。	V	(2) 板梁中腹板及盖板的纵向焊缝。
6.4	箱形构件棱角焊缝与水平板对接焊缝交叉 	(3) 一根杆件有不同的熔深时,如系坡口底面高相同,则加高焊缝起弧应在距杆端 80 mm 以外的引板上,终端应磨修,将缺陷清除干净。清除熄弧的长度不应小于 60 mm,并使高出的焊缝成 1:10 的坡度匀顺过渡到较低的焊缝。第一道焊缝应在距杆端 80 mm 以外的板上起、熄弧		(3) 箱形构件板件对接处棱角焊缝。
6.5	箱形构件棱角焊缝与腹板对接焊缝交叉 			(4) 箱形构件在整体节点附近改变熔深部位的棱角焊缝

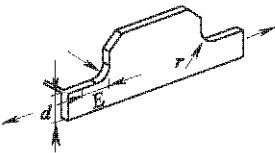
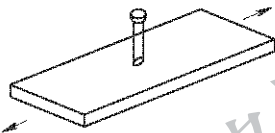
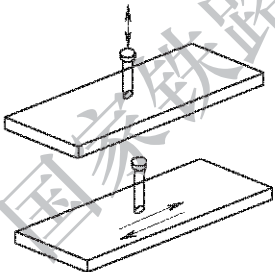
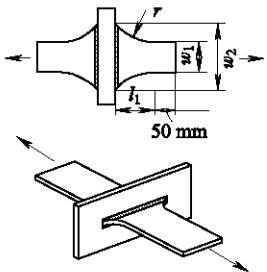
续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
7	工字形对接焊缝与角焊缝交叉	(1)采用埋弧自动焊。 (2)垂直于受力方向的焊缝按类别 5 横向对接焊缝要求。 (3)顺受力方向的角焊缝按类别 6 纵向焊缝接头要求	V	工字形、T形构件及纵向加劲肋的纵向角焊缝与盖板或腹板对接焊缝交叉处
7.1	盖板对接焊缝与角焊缝交叉 			
7.2	腹板对接焊缝与角焊缝交叉 			
8	横向附连件角接焊缝	(1)采用成型好的手工焊、CO ₂ 气体保护焊或半自动焊施焊。 (2)焊趾处不应有咬肉,如不满足时可用砂轮顺受力方向打磨。 (3)对起、熄弧处进行磨修,严格保证质量	IX	箱形杆件隔板横向连接角焊缝
8.1	附连件无焊缝交叉 			
8.2	附连件有焊缝交叉 封端隔板 			

续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
9	板梁竖向加劲肋与腹板连接焊缝端部  80 mm~100 mm	(1) 焊缝端部至腹板表面应匀顺过渡。 (2) 对起、熄弧处应进行磨修, 严格保证质量。 (3) 在腹板侧受拉区不应有咬肉。 (4) 必要时, 竖向加劲肋端部 100 mm 内焊趾处锤击	Ⅶ	板梁竖向加劲肋与腹板连接焊缝端部(检算顺桥轴方向的主拉应力或拉力)
10	板梁盖板端焊缝 	(1) 端部焊缝不应有咬肉。 (2) 盖板端焊缝打磨匀顺过渡, 坡度不应大于 1:5。 (3) 盖板端部焊趾锤击长度不应小于 100 mm	Ⅴ	板梁盖板焊缝端部或焊趾处
11	平关节点板	(1) 坡口焊透, 焊缝两端顺受力方向打磨, 使圆弧匀顺过渡。	Ⅴ	板梁腹板、翼缘板或杆件竖板与水平节点板手工焊连接焊缝的端部
11.1		(2) 水平节点板与主板焊接时, 节点板先焊, 并根据需要切圆弧, 然后双面倒棱、磨修。在切弧、倒棱、磨修时, 应将焊缝的缺陷清除干净。		
11.2		(3) 在焊缝两端长 100 mm 的范围内及焊缝端部锤击。 (4) $r_1 \geq 100 \text{ mm}$; $r_2 \geq d/10$, 但不应小于 100 mm	Ⅲ	

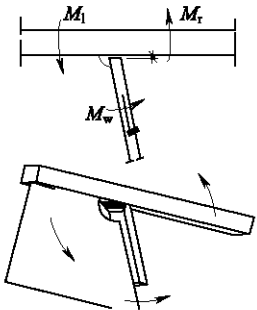
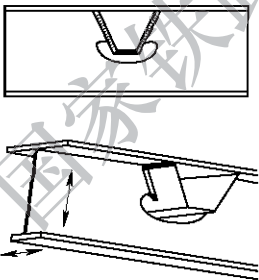
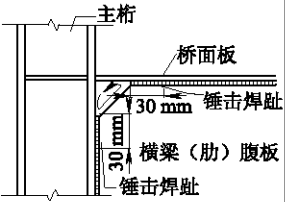
续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
12	整体节点 	(1) 单面坡口棱角焊缝质量要求按 6.3。 (2) 圆弧处应顺受力方向打磨,并自圆弧末端向外打磨,打磨长度 E 不小于 100 mm, $r \geq d/5$, 但不应小于 100 mm	Ⅱ	整体节点、圆弧起点、棱角焊缝
13	剪力钉			结合
13.1			Ⅲ	梁受拉翼缘在传剪栓钉焊趾处母材
13.2		焊趾不应有咬肉、裂纹,成形应良好,且 $\frac{h}{d} \geq 4$, 其中 h 为钉高, d 为钉直径	Ⅲ	栓钉拉拔应力、栓钉焊接断面剪应力
14	横梁翼板与主桁整体节点十字形熔透焊缝 	$w_2 \geq 2w_1, l_1 - w_2$ w_1, 扩大部分采用圆弧过渡。横梁翼板预留 50 mm 直线段。圆弧部位采用精密切割,表面加工粗糙度 12.5, 顺受力方向打磨。 十字焊缝表面按照工艺进行超声波锤击处理	Ⅴ	检算截面取焊缝根部靠近横梁一侧的理论加宽截面

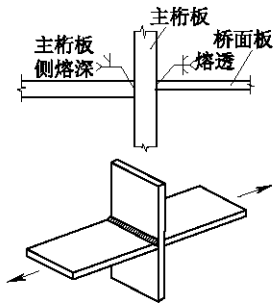
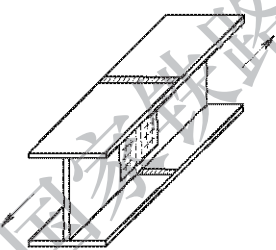
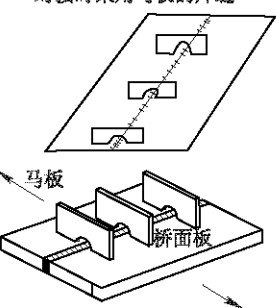
续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
15	正交异性钢桥面板			
15.1	整体桥面与主桁不等厚对接	焊趾不应有咬肉、裂纹, 成形应良好	Ⅲ	桥面 横向检 算截面 取变截 面处薄 板侧
15.2	U肋嵌补段对接	钢衬垫组装间隙不大于 0.5 mm, 施焊时不应将焊滴流到焊缝外母材上	Ⅲ	U肋 顶板焊 缝
15.3	U肋与桥面板焊接	部分熔透坡口焊, 焊透深度不应小于 75% 肋板厚度, 焊喉高不应小于肋板厚度。焊缝通过横隔板时不设过焊孔	Ⅲ	两横 隔板之 间的 U 肋焊缝 和与横 隔板相 交的焊 缝①

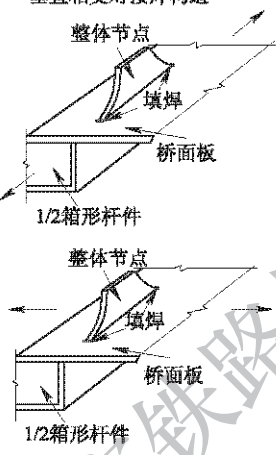
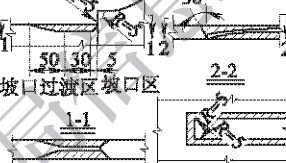
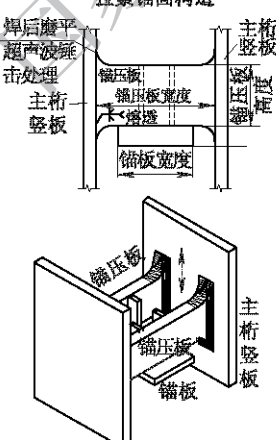
续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
15.4	U肋与桥面板焊接 	部分熔透坡口焊, 焊透深度 $\geq 75\%$ 肋板厚度, 焊喉高 $a \geq$ 肋板厚度。焊缝通过横隔板时设过焊孔	Ⅲ	U肋与横隔板相交的焊缝 ^①
15.5	U肋与横梁腹板焊接 	焊趾不应有咬肉、裂纹, 焊缝起弧收弧处成形应良好	Ⅳ	因横梁腹板面外变形作用, 焊缝边缘处。U肋在腹板平面内挖空处相对竖向变位, 挖空圆弧处
15.6	桥面板十字对接焊加腹板角焊缝 	在过焊孔部位, 顺孔边沿箭头方向打磨匀顺, 并在焊缝端头腹板侧的 30 mm 范围焊趾进行超声波锤击处理	Ⅲ	桥面板与整体节点对接焊缝处

续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
15.7	桥面板与主桁不等厚十字对接焊 	主桁板侧坡口焊接熔深可为十字对接桥面板厚度的 1.25 倍	Ⅴ	桥面板与整体节点对接焊缝处
15.8	栓焊组合接头 	桥面板工地焊接采用单面焊双面成形工艺,焊后对顶面焊缝焊高沿焊缝 45° 方向交叉打磨平顺,过焊孔部位打磨平顺	Ⅵ	工地对接焊处
15.9	桥面板工地对接时采用马板的焊缝 	桥面板工地焊接采用马板定位,焊后去除马板,对表面焊高沿焊缝 45° 方向交叉打磨平顺	Ⅶ	桥面板工地对接后马板去除磨平部位

续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
16	桥面板与整体节点垂直相交对接焊构造  整体节点 桥面板 填焊 1/2箱形杆件 整体节点 桥面板 填焊 1/2箱形杆件	垂直交叉焊缝两端的槽型熔透焊缝不应垂直填焊,由大于 5 mm 半径的弧形坡口过渡。当坡口半径为 5 mm 时的坡口示意如下: 整体节点板坡口示意 板面板坡口示意  30° 50 30 5 坡口过渡区 1-1 2-2 焊接工艺需要特殊设计,严格控制线能量,多次施焊。焊后对上下表面打磨平顺,填焊焊缝和周边表面进行超声波满锤处理	Ⅲ	(1) 箱形构件上盖板与腹板纵向角焊缝。 (2) 垂直相交焊缝处
17	拉索锚固构造  主桁竖板 锚压板 锚板 锚压板宽度 锚板宽度 焊后磨平 超声波锤击处理	(1) 焊缝端部磨平,分别对竖板和锚压板侧焊趾超声波锤击处理,对焊缝端部竖板侧满锤处理。 (2) 锚板与锚压板宽度之比应大于 0.65;锚压板的宽高比应小于 1.65	Ⅲ	锚压板与竖板焊缝端部

续表 3.2.7—2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅类别	检算部位
18	实体圆钢吊杆接头螺纹构造	(1) 实体圆钢吊杆材质为 35CrMo 圆钢。 (2) 圆钢钢坯与成品杆件压缩比(锻造比)不应小于 6。 (3) 接头螺纹应采用梯形螺纹 ($Tr\ D \times P$), 螺纹配合精度符合 GB/T 5796.4 中 8H/7e 要求。 (4) 螺纹段表面加工粗糙度不应大于 $\sqrt[6.3]{}$, 杆部表面粗糙度不应大于 $\sqrt[12.5]{}$。外螺纹收尾部分与杆体圆弧光滑过渡, 过渡长度不应小于杆体直径 d。T 形螺纹的牙底及牙顶应圆弧光滑过渡。吊杆内螺纹孔口应倒角处理。 (5) 吊杆螺纹部分的小径应大于杆体直径, 且螺纹部分直径与杆体直径比 D/d 不应小于 1.26, 螺纹部分长度与直径比 l/D 不应小于 1.21	IV	端部 螺纹 ^②

注: 1 ^① 可用板弯曲引起的应力幅 $\Delta\sigma$ 进行验算。

2 ^② 此处为剪应力检算。

3 ^③ 计算采用杆部截面公称尺寸。

3.2.8 各种外力组合的容许应力提高系数应按表 3.2.8 的规定确定。

表 3.2.8 各种外力组合容许应力的提高系数

序号	外力组合	提高系数
1	主力	1.00
2	主力 附加力	1.30

续表 3.2.8

序号	外力组合		提高系数
3	主力 面内次应力(或面外次应力)		1.20
4	主力 面内次应力 面外次应力		1.40
5	主力 面内次应力(或面外次应力) 制动力(或风力)		1.45
6	主力 地震力		1.50
7	钢梁安装	恒载 施工荷载	1.20
		恒载 施工荷载 风力	1.40
		恒载 施工荷载 风力 面内次应力(或面外次应力)	1.50

注:表中次应力指由节点刚性在主桁杆件中引起的次应力。

4 结构内力计算

4.1 结构内力计算原则

4.1.1 结构构件的内力应按弹性受力阶段确定,变形应按杆件的毛截面计算,不考虑栓(钉)孔削弱的影响。

4.1.2 为简化计算,可将桥跨结构划分为若干个平面系统分别计算,但应考虑各个平面系统间的共同作用和相互影响。

4.1.3 板桁组合结构应考虑钢桥面板和主桁杆件日照温度变化不同步的影响。

4.2 强度及稳定计算

4.2.1 结构构件的强度应按表 4.2.1 规定的公式计算。

表 4.2.1 强度计算公式

计算应力的种类	构件受力	计算公式	公式编号
法向应力	中心受拉	$\frac{N}{A} \leq [\sigma]$	(4.2.1 1)
	在一个主平面内受弯曲	$\frac{M}{W} \leq [\sigma_w]$	(4.2.1 2)
	受压或受拉并在一个主平面内受弯曲或与此相当的偏心受压及偏心受拉	$\frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq [\sigma]$	(4.2.1 3)
	受斜弯曲	$\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq C[\sigma_w]$	(4.2.1 4)
	受压或受拉并受斜弯曲或与此相当的偏心受压及偏心受拉	$\frac{N}{A} + \left(\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \right) \frac{1}{C} \leq [\sigma]$	(4.2.1 5)

续表 4.2.1

计算应力的种类	构件受力	计算公式	公式编号
剪应力	受弯曲	$\tau_{\max} = \frac{VS}{I_m \delta} \leq C_\tau [\tau]$	(4.2.1-6)
换算应力	受弯曲 受压或受拉并受弯曲	$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.1[\sigma]$	(4.2.1-7)

- 注:表中 N 检算截面上的计算轴向力(MN);
 M 检算截面上的弯矩(MN·m);
 V 检算截面上的剪力(MN);
 A 检算截面上的计算面积(m²),拉杆为净截面积,压杆为毛截面积;
 I_m 毛截面惯性矩(m⁴);
 W, W_x, W_y 检算截面处对主轴的计算截面抵抗矩(m³),检算受拉翼缘为净截面抵抗矩;检算受压翼缘为毛截面抵抗矩,为简化计,均可按毛截面的重心轴计算;
 δ 腹板厚度(m);
 S 中性轴以上的毛截面对中性轴的面积矩(m³);
 σ 截面检算处按计算截面计算的法向应力(MPa);
 τ 截面检算处的剪应力(MPa);
 C 斜弯曲作用下容许应力增大系数,可按下式计算:

$$C = 1 + 0.3 \times \frac{\sigma_{m2}}{\sigma_{m1}} \leq 1.15$$

σ_{m1}, σ_{m2} 截面检算处由于弯矩 M_x, M_y 所产生的较大和较小的组合应力;

C_τ 剪应力分布不均匀容许应力增大系数可按下式计算:

$$\text{当 } \frac{\tau_{\max}}{\tau_0} \leq 1.25, C_\tau = 1.0;$$

$$\text{当 } \frac{\tau_{\max}}{\tau_0} \geq 1.50, C_\tau = 1.25;$$

$$\text{当 } \frac{\tau_{\max}}{\tau_0} \text{ 为中间值时, } C_\tau \text{ 按直线比例计算, } \tau_0 = \frac{V}{h\delta},$$

h 腹板全高(m)。

4.2.2 结构构件的总稳定性应按表 4.2.2 规定的公式计算。

表 4.2.2 总稳定性计算公式

计算应力的种类	构件受力	计算公式	公式编号
法向应力	中心受压	$\frac{N}{A_m} \leq \varphi_1 [\sigma]$	(4.2.2 1)
	在一个主平面内受弯曲	$\frac{M}{W_m} \leq \varphi_2 [\sigma]$	(4.2.2 2)
	受压并在一个主平面内受弯曲或与此相当的偏心受压	$\frac{N}{A_m} \cdot \frac{\varphi_1}{\mu_1 \varphi_2} \cdot \frac{M}{W_m} \leq \varphi_1 [\sigma]$	(4.2.2 3)

注:1 对于仅通过翼缘板连接的焊接 T 形截面压杆,应按偏心受压杆检算其稳定性,计算公式中的容许应力折减系数 φ_1 可采用焊接箱形截面压杆的值。

2 表中 N 计算轴向力(MN);

M 构件中部 1/3 长度范围内最大计算弯矩(MN·m);

A_m 毛截面积(m²);

W_m 毛截面抵抗矩(m³);

φ_1 中心受压杆件的容许应力折减系数,根据钢种、截面形状及验算所对的轴等按本规范表 3.2.6 采用;

φ_2 构件只在一个主平面内受弯时的容许应力折减系数(若是压弯杆,可按 $N=0$ 的情况来确定 φ_2),在不作进一步分析时可按本规范式(4.2.2 4)计算构件的换算长细比 λ_0 ,并按 $\lambda_0 - \lambda$ 从本规范表 3.2.6 查得相应的 φ_1 ,用作 φ_2 ;

$$\lambda_0 = \alpha \cdot \frac{l_0 \gamma_x}{h \gamma_y} \quad (4.2.2 4)$$

α 系数,焊接杆件取 1.8,铆接杆件取 2.0;

l_0 构件受压翼缘(指因弯矩而受压)对弱轴的计算长度;

γ_x, γ_y 构件截面对 $x-x$ 轴(强轴)及 $y-y$ 轴(弱轴)的回转半径,如图 4.2.2 所示;

h 如图 4.2.2 所示。

对于下列情况,取 $\varphi_2 = 1$;

(1)箱形截面杆件;

(2)任何截面杆件,当所验算的失稳平面和弯矩作用平面一致时。

μ_1 考虑弯矩因构件受压而增大所引用的值:

当 $\frac{N}{A_m} \leq 0.15 \varphi_1 [\sigma]$ 时取 $\mu_1 = 1.0$

当 $\frac{N}{A_m} > 0.15 \varphi_1 [\sigma]$ 时取 $\mu_1 = 1 - \frac{n_1 N \lambda^2}{\pi^2 E A_m}$

λ 构件在弯矩作用平面内的长细比;

E 弹性模量(MPa);

n_1 压杆容许应力安全系数,主力组合时取 1.7, $[\sigma]$ 应按主力组合采用;主力加附加力组合时取 1.4, $[\sigma]$ 应按主力加附加力组合采用。

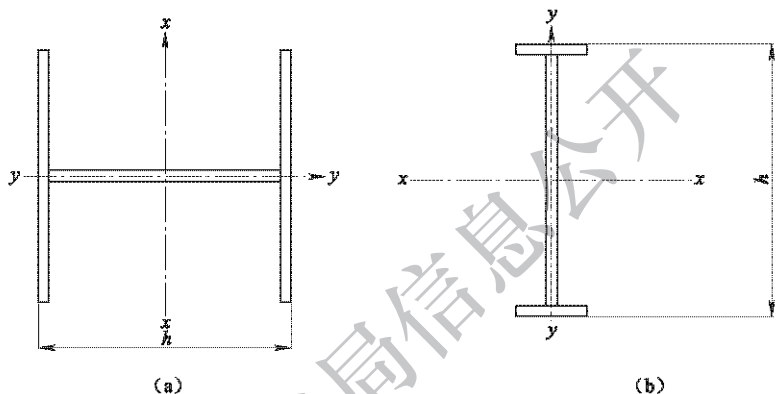


图 4.2.2 H 形杆件及 I 形梁简图

4.3 疲劳计算

4.3.1 凡承受动荷载重复作用的结构构件或连接应进行疲劳检算。疲劳组合包括设计荷载中的恒载加活载(包括冲击力、离心力,但不考虑活载发展系数)。列车竖向活载应将列车竖向静活载乘以运营动力系数($1+\mu_f$)。运营动力系数可按下式计算:

$$1+\mu_f = 1 + \frac{18}{40+L} \quad (4.3.1)$$

式中 L ——桥梁跨度(m),承受局部活载杆件的影响线加载长度;

μ_f ——活载冲击力的动力系数。

4.3.2 多线铁路桥主桁(或主梁)构件(第 4.3.3 条除外)检算疲劳时,疲劳荷载可按一线加载,作用于横向最不利位置,并乘以多线系数 γ_d ,多线系数 γ_d 应符合表 4.3.2—1 和表 4.3.2—2 的规定。

表 4.3.2—1 钢梁双线系数 γ_d

列车类型 线路数量	客货共线/高速/城际铁路列车					重载铁路列车				
双线	δ_1/δ_2					δ_1/δ_2				
	2/5	3/7	4/8	5/9	3/5	2/5	3/7	4/8	5/9	3/5
	1.12	1.13	1.16	1.19	1.21	1.21	1.23	1.27	1.31	1.34

注: δ_1/δ_2 为一线加载时, 按杠杆原理计算, 两片主桁(或主梁)各自承受的荷载比。

表 4.3.2—2 钢梁多线系数 γ_d

列车类型 线路数量	客货共线/高速/城际铁路列车					重载铁路列车
三线	1.80~1.90 ^①					2.26
四线	2.15~2.30 ^①					2.85
六线	n/N^{∞}					
	0/6	2/6	3/6	4/6	6/6	
	2.75	2.60	2.80	2.90	3.05	

注: 1 ^① 下限为全部高速/城际铁路, 上限为全部客货共线铁路, 中间部分可内插。

2 [∞] n 为桥上客货共线铁路的线路数量, N 为桥上线路总数。

4.3.3 双线铁路桥的横梁及连接横梁的主桁竖杆, 按一线最大活载, 另一线为相应活载图式中的均布活载加载, 计算疲劳内力。

4.3.4 铁路纵梁与横梁布置在同一平面, 当纵梁与横梁用鱼形板连接, 纵梁可以承受支点弯矩时, 则纵梁跨中弯矩可取 $0.85M_c$ (M_c 为按简支梁计算的跨中弯矩), 支点弯矩可取 $0.6M_c$ 。

4.3.5 焊接及非焊接(栓接)构件及连接均需进行疲劳检算, 当疲劳应力均为压应力时, 可不进行疲劳检算。

4.3.6 焊接构件及连接疲劳检算应符合下列规定:

1 疲劳应力为拉—拉构件或以拉为主的拉—压构件 (即 $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \geq -1$), 其疲劳检算应符合下式规定:

$$\gamma_d \gamma_n (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \leq \gamma_L [\sigma_c] \quad (4.3.6-1)$$

式中 $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ ——最大、最小应力,拉力为正,压力为负。当构件同时承受轴向应力与弯曲次应力时,应将截面所承受的角点应力分解为轴向应力 σ_N 和弯曲次应力 σ_w ,并根据最不利叠加折算成轴向疲劳检算应力 $\sigma_{N+w}, \sigma_{N+w} = \sigma_N + k\sigma_w$,作为最大应力 $\sigma_{\max}$ 或最小应力 $\sigma_{\min}$, k 为次应力折减系数,取 0.65;

$[\sigma_c]$ ——疲劳容许应力幅(见表 3.2.7—1);

γ_d ——多线桥的多线系数(见表 4.3.2—1 和表 4.3.2—2);

γ_n ——以受拉为主的构件的损伤修正系数(见表 4.3.6—1~表 4.3.6—4);

γ_L ——板厚修正系数。当板厚 $t \leq 25$ mm, $\gamma_L = 1$;

当 $t > 25$ mm, $\gamma_L = \sqrt{\frac{25}{t}}$;当构造细节为横隔板作为主板附连件焊接构造时, $\gamma_L = 1$ 。

2 疲劳应力以压为主的拉—压构件(即 $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} < -1$),其疲劳检算应符合下式规定:

$$\gamma_d \gamma'_n \sigma_{\max} \leq \gamma_L \gamma_\rho [\sigma_c] \quad (4.3.6-2)$$

式中 γ'_n ——以受压为主的构件的损伤修正系数(见 4.3.6—1~表 4.3.6—4);

γ_ρ ——应力比修正系数(见表 4.3.6—5)。

表 4.3.6—1 客货共线铁路损伤修正系数 γ_n 和 γ'_n

影响线加载长度(m)	γ_n	γ'_n						
		恒:活 (2:8)	恒:活 (3:7)	恒:活 (4:6)	恒:活 (6:4)	恒:活 (7:3)	恒:活 (8:2)	恒:活 (9:1)
≥ 20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
16	1.10	1.08	1.07	1.06	1.04	1.03	1.02	1.01

续表 4.3.6—1

影响线加载长度(m)	γ_n	γ'_n						
		恒:活 (2:8)	恒:活 (3:7)	恒:活 (4:6)	恒:活 (6:4)	恒:活 (7:3)	恒:活 (8:2)	恒:活 (9:1)
12	1.20	1.16	1.14	1.12	1.08	1.06	1.04	1.02
8	1.30	1.24	1.21	1.18	1.12	1.09	1.06	1.03
5	1.45	1.36	1.32	1.27	1.18	1.14	1.09	1.05
≤ 4	1.50	1.40	1.35	1.30	1.20	1.15	1.10	1.05

表 4.3.6—2 高速铁路损伤修正系数 γ_n 和 γ'_n

影响线加载长度(m)	γ_n	γ'_n						
		恒:活 (2:8)	恒:活 (3:7)	恒:活 (4:6)	恒:活 (6:4)	恒:活 (7:3)	恒:活 (8:2)	恒:活 (9:1)
≥ 30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.10	1.08	1.07	1.06	1.04	1.03	1.02	1.01
16	1.20	1.16	1.14	1.12	1.08	1.06	1.04	1.02
8	1.30	1.24	1.21	1.18	1.12	1.09	1.06	1.03
5	1.45	1.36	1.32	1.27	1.18	1.14	1.09	1.05
≤ 4	1.50	1.40	1.35	1.30	1.20	1.15	1.10	1.05

表 4.3.6—3 城际铁路损伤修正系数 γ_n 和 γ'_n

影响线加载长度(m)	γ_n	γ'_n						
		恒:活 (2:8)	恒:活 (3:7)	恒:活 (4:6)	恒:活 (6:4)	恒:活 (7:3)	恒:活 (8:2)	恒:活 (9:1)
≥ 30	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
20	1.150	1.120	1.105	1.090	1.060	1.045	1.030	1.015
16	1.250	1.200	1.175	1.150	1.100	1.075	1.050	1.025
8	1.300	1.240	1.210	1.180	1.120	1.090	1.060	1.030
5	1.450	1.360	1.315	1.270	1.180	1.135	1.090	1.045
≤ 4	1.500	1.400	1.350	1.300	1.200	1.150	1.100	1.050

表 4.3.6—4 重载铁路损伤修正系数 γ_n 和 γ'_n

影响线加载长度(m)	γ_n	γ'_n						
		恒:活 (2:8)	恒:活 (3:7)	恒:活 (4:6)	恒:活 (6:4)	恒:活 (7:3)	恒:活 (8:2)	恒:活 (9:1)
≥ 20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
16	1.150	1.120	1.105	1.090	1.060	1.045	1.030	1.015
12	1.250	1.200	1.175	1.150	1.100	1.075	1.050	1.025
10	1.300	1.240	1.210	1.180	1.120	1.090	1.060	1.030
8	1.400	1.320	1.280	1.240	1.160	1.120	1.080	1.040
5	1.450	1.360	1.315	1.270	1.180	1.135	1.090	1.045
≤ 4	1.500	1.400	1.350	1.300	1.200	1.150	1.100	1.050

表 4.3.6—5 应力比修正系数 γ_ρ

ρ	4.5	4.0	3.5	3.0	2.0	1.8	1.6
焊接构件	0.21	0.23	0.25	0.28	0.36	0.38	0.41
非焊接构件	0.25	0.27	0.30	0.33	0.43	0.45	0.48
ρ	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
焊接构件	0.43	0.46					
非焊接构件	0.52	0.56	0.60	0.65	0.71	0.79	0.88

4.3.7 非焊接构件及连接疲劳检算应符合下列规定:

1 疲劳应力为拉—拉的构件(即 $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \geq 0$),其疲劳检算应符合下式规定:

$$\gamma_d \gamma_n (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \leq \gamma_t [\sigma_c] \quad (4.3.7-1)$$

2 疲劳应力为拉—压的构件(即 $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} < 0$),其疲劳检算应符合下式规定:

$$\gamma_d \gamma'_n \sigma_{\max} \leq \gamma_t \gamma_\rho [\sigma_c] \quad (4.3.7-2)$$

5 杆件的计算长度、长细比和构件截面

5.1 杆件的计算长度

5.1.1 杆件的计算长度可按表 5.1.1 的规定确定。

表 5.1.1 杆件计算长度

杆 件			弯曲平面	计算长度
主 桁	弦 杆		面内及面外	l_0
	端斜杆、端立杆、连续梁中间支点处 立柱或斜杆作为桥门架时		面内	$* 0.9l_0$
			面外	l_0
	桁 架 的 腹 杆	无相交和无交叉	面内	$* 0.8l_0$
			面外	l_0
		与杆件相交或交叉 (不包括与拉杆相交)	面内	l_1
			面外	l_0
		与拉杆相交	面内	l_1
			面外	$0.7l_0$
纵 向 及 横 向 联 结 系	无交叉		面内及面外	l_2
	与拉杆相交		面内	l_1
			面外	$0.7l_2$
	与杆件相交或交叉 (不包括与拉杆相交)		面内	l_1
			面外	l_2

注：1 * 与该腹杆交会的主桁受拉弦杆，其长细比应不大于 100，否则其计算长度应另行计算。

2 当杆件两端均与受压杆件相连接时，其计算长度不小于该杆件两连接栓群中心的距离。

3 l_0 为主桁各杆件的几何长度（即杆端节点中距），如杆件全长被横向结构分割时，则取其较长的一段长度。

4 l_1 为从相交点至杆端节点较长的一段长度。

5 l_2 为纵向（横向）联结系系统线与节点板连在主桁杆件的固着线交点的距离。

5.1.2 对于半穿式钢梁受压翼缘(或弦杆)计算长度 l , 当桥跨结构主梁(或主桁)的节间长度 d 小于等于 $\frac{L}{3m}$ 时, l 为 αL , 系数 α 和 m 可根据 β 值从表 5.1.2 查取。

表 5.1.2 系数 α 及 m

β	0	5	10	19	20	30	50	100	150
α	0.696	0.524	0.443	0.370	0.367	0.353	0.330	0.290	0.264
m	1				2				
β	200	242	243	300	500	700	1 000	1 060	1 061
α	0.246	0.234	0.234	0.225	0.204	0.189	0.174	0.171	0.171
m	2			3					4
β	1 500	2 000	2 500	3 000	3 082	3 083	4 000	5 000	6 000
α	0.160	0.149	0.142	0.136	0.135	0.135	0.127	0.121	0.116
m	4					5			
β	7 129	7 130	8 000	10 000					
α	0.112	0.112	0.109	0.103					
m	5		6						

注:1 表中 $\beta = \frac{L^4}{16d\delta EI_m}$ (5.1.2-1)

m 屈曲时受压翼缘(或弦杆)形成半正弦波的个数;

L 梁(或桁)的计算跨度(m);

d 节间长度(m);

I_m 受压翼缘(或弦杆)毛截面对竖轴的惯性矩(全长平均值)(m^4);

E 钢的弹性模量(MPa);

δ 半框架(除端半框架外)上节点由单位水平力($P=1$)作用而引起的最大位移(一个翼缘或弦杆的)(m/MN),其数值为:

$$\delta = \frac{h^3}{3EI_c} + \frac{Bh^2}{2EI_g} \quad (5.1.2-2)$$

h 压翼缘或弦杆的截面重心至横梁顶面的高度(m);

B 两主梁(或主桁)间的距离(m);

I_c 加劲肋(或竖杆)毛截面向梁(或桁)平面外弯曲的惯性矩(m^4);

I_g 横梁截面的惯性矩(m^4);

- 2 其中板梁受压翼缘的截面,对于焊接结构为盖板束的截面积;对于铆接结构为盖板、翼角以及在翼角范围内一部分腹板的面积。翼缘的纵向力按上述截面积乘以翼缘截面重心处的应力计算。

5.2 杆件的容许最大长细比

5.2.1 杆件的容许最大长细比应符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 杆件容许最大长细比

杆 件			最大长细比 λ
主桁杆件	弦杆 受压或受反复应力的杆件		100
	不受活载的腹杆		150
	仅受拉力的腹杆	长度 ≤ 16 m	180
		长度 > 16 m	150
联结系杆件	纵向联结系 支点处横向联结系		单线 110 多线 130
	制动联结系		130
	中间横向联结系		150

注:1 整体式截面的构件,其计算长细比等于计算长度与相应回转半径之比。

2 II 形杆件的计算面积中未包括腹板时,长细比计算时可不考虑腹板。

5.2.2 以缀板组合的杆件,其长细比的计算应符合下列规定:

1 杆件分肢容许最大长细比,压杆应为 40,其他杆件应为 50。

2 杆件分肢的计算长度,铆接时应取相邻缀板间最近铆钉的间距,焊接时应取相邻缀板的净距。

3 组合杆件在缀板平面内弯曲时,其换算长细比应按下式计算:

$$\lambda_2 = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_1^2} \quad (5.2.2-1)$$

式中 λ ——在缀板平面内弯曲时,全杆件按整体截面计算的长细比;

λ_1 ——分肢的长细比。

5.2.3 缀板构造应符合表 5.2.3 的规定。

表 5.2.3 缀板构造

名 称		压杆或压 拉杆		拉杆	
		主要	次要	主要	次要
缀板 长度	端部	1.25S	0.75S	S	0.75S
	中间	0.75S		0.75S	
缀板厚度		S/45,且不小于 10 mm	S/55,且不小于 8 mm	10 mm	8 mm
缀板一 侧铆钉	最小数目	3	3	3	3
	最大距离(mm)	120	120	120	120

注: S 为缀板与杆件分肢连结最近铆钉线或焊缝的距离,以 mm 计。

5.2.4 缀板剪力计算应符合下列规定:

- 1 中心受压组合杆件缀板的剪力可按下式计算:

$$V = \alpha A_m [\sigma] \frac{\varphi_{\min}}{\varphi} \quad (5.2.4)$$

式中 α ——系数, Q235q 的杆件为 0.015, Q345q、Q370q 的杆件为 0.017, Q420q 的杆件为 0.018, Q500q 的杆件为 0.020;

A_m ——组合杆件中被接合的分肢的总面积(m^2);

$[\sigma]$ ——基本容许应力(MPa);

$\varphi_{\min}$ ——检算杆件总稳定性时容许应力折减系数的较小值;

φ ——检算杆件在缀板平面内总稳定性的容许应力折减系数。

- 2 剪力 V 值假定在杆件全长不变。

- 3 压弯组合杆件,应计入由弯曲产生的剪力。

- 4 在平行平面上有数组缀板时,剪力可由各组缀板平均分担;兼用整板和缀板时,整板和缀板各承担一半剪力。

5.2.5 桥跨结构中用以减少压杆计算长度的支撑杆件,应以被支撑压杆内力的 3% 为抗力,予以检算。

5.3 构件截面

5.3.1 结构各部分截面的容许最小尺寸应符合表 5.3.1 的规定。

表 5.3.1 结构各部分截面的容许最小尺寸(mm)

构 件		最小厚度或尺寸
钢板	挂杆翼板 跨长 ≥ 16 m 焊接板梁的腹板	12
	填板	4
	其他	10
联结系角钢肢厚度		10
纵梁与横梁及横梁与主桁的连接角钢		100 $\times$ 100 $\times$ 12

5.3.2 H 形压杆的腹板厚度,对于铆接杆不宜小于 0.4δ (δ 为翼板厚);对于焊接杆,当 δ 大于等于 24 mm 时,不宜小于 0.5δ ,当 δ 小于 24 mm 时,不宜小于 0.6δ 。

在主桁中不宜采用由缀板组合的焊接杆件。

5.3.3 组合压杆的板或板束宽度 b 与厚度 δ 之比宜符合表 5.3.3 的规定。

表 5.3.3 组合压杆板束宽度与厚度之比的最大值

序号	板件类型	钢材牌号							
		Q235q		Q345q, Q370q		Q420q		Q500q	
		λ	b/δ	λ	b/δ	λ	b/δ	λ	b/δ
1	II 形截面中的腹板	<60	34	<50	30	<45	28	<40	26
		≥ 60	0.4λ	≥ 50	0.4λ	≥ 45	0.4λ	≥ 40	0.4λ
2	箱形截面中无加劲肋的两边支承板	<60	33	<50	30	<45	28	<40	26
		≥ 60	0.3λ	≥ 50	0.3λ	≥ 45	0.3λ	≥ 40	0.3λ

续表 5.3.3

序号	板件类型		钢材牌号							
			Q235q		Q345q、Q370q		Q420q		Q500q	
			λ	b/δ	λ	b/δ	λ	b/δ	λ	b/δ
3	II形或 T形无 加劲的 伸出肢	铆接杆		≤ 12		≤ 10				
		焊接杆	< 60	13.5	< 50	12	< 45	11	< 40	10
			≥ 60	$0.15 \lambda + 4.5$	≥ 50	$0.14 \lambda + 5$	≥ 45	$0.14 \lambda + 4.7$	≥ 40	$0.14 \lambda + 4.5$
4	铆接杆 角钢伸 出肢	受轴向 力的主 要杆件		≤ 12		≤ 12				
		支撑及 次要杆 件		≤ 16		≤ 16				
5	箱形截面中 n 等 分线附近各设一 条加劲肋的两边 支承板		< 60	$28n$	< 50	$24n$	< 45	$22n$	< 40	$20n$
			≥ 60	$(0.3 \lambda + 10)n$	≥ 50	$(0.3 \lambda + 9)n$	≥ 45	$(0.3 \lambda + 8.5)n$	≥ 40	$(0.3 \lambda + 8)n$

注:1 b, δ 如图 5.3.3(a)~(j) 所示, 图中 $b_1, \delta_1, b_2, \delta_2, b_3, \delta_3, b_4, \delta_4, b_5, \delta_5$ 分别对应表 5.3.3 中序号 1、2、3、4、5 项中的 b 及 δ 。

2 计算压应力 σ 小于容许应力 $[\sigma]$ 时, 表中 b/δ 值除序号 4 外, 可按规定放宽, 即根据该杆件计算压应力与基本容许应力之比 φ 按表 3.2.6 查出相应的 λ 值, 再根据此 λ 值按本表算出该杆件容许的 b/δ 值。

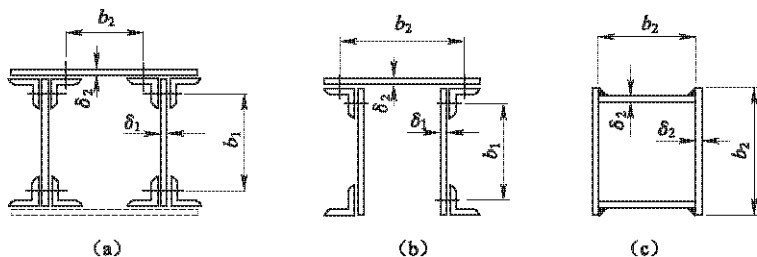


图 5.3.3 板(板束)位置简图

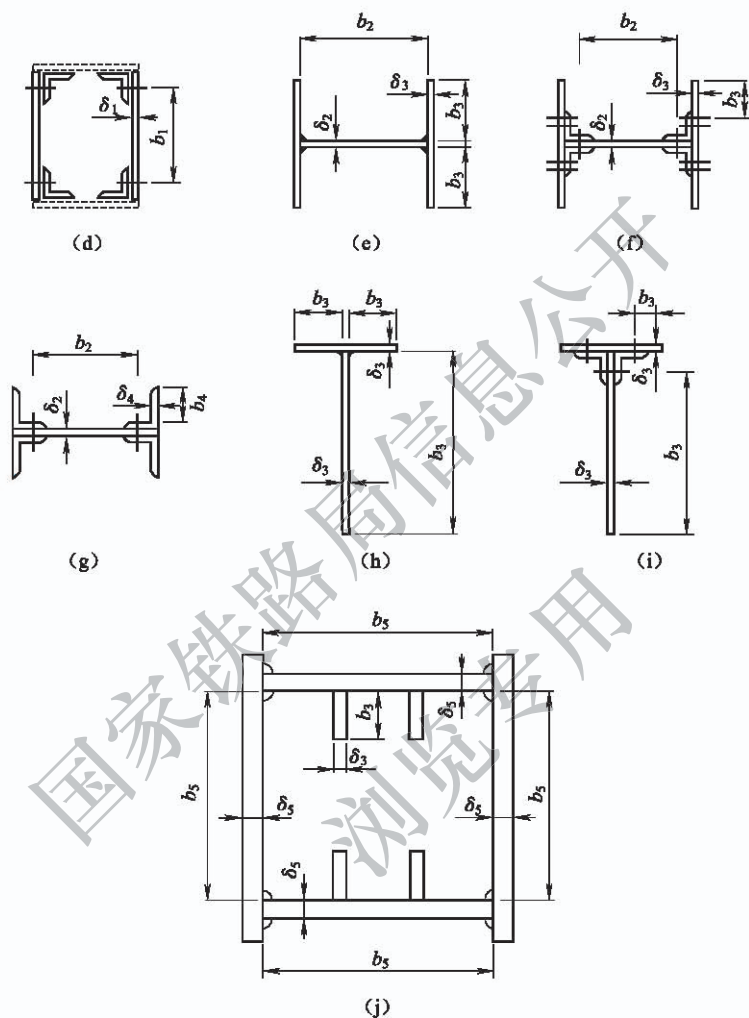


图 5.3.3 板(板束)位置简图(续)

5.3.4 带加劲肋的箱形受压杆件,宜采用刚性加劲肋,加劲肋的刚度应满足下列规定:

$$I = \frac{1}{11} b \delta^3 \gamma \quad (5.3.4)$$

各加劲肋的最大宽厚比应符合表 5.3.3 中序号 3 的规定。但采用特殊形状有加劲肋时可不受这个限制。

式中 b ——表 5.3.3 中序号 5 所示板的宽度 b_s (mm);

δ ——表 5.3.3 中序号 5 所示板的厚度 δ_s (mm);

γ ——用下式计算得到的刚度比:

$$\text{当 } \frac{(b/\delta)_s}{(b/\delta)_c} > \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\beta)}} \text{ 时}$$

$$\gamma = 4\alpha^2 n \left\{ \frac{(b/\delta)_s}{(b/\delta)_c} \right\}^2 (1+n\beta) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n} \quad \left(\text{且 } \frac{(b/\delta)_s}{(b/\delta)_c} \leq 1 \right)$$

$$\gamma = 4\alpha^2 n (1+n\beta) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n} \quad \left(\text{且 } \frac{(b/\delta)_s}{(b/\delta)_c} > 1 \right)$$

$$\text{当 } \frac{(b/\delta)_s}{(b/\delta)_c} \leq \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\beta)}} \text{ 时}$$

$$\gamma = \frac{1}{n} \left[2n^2 \left\{ \frac{(b/\delta)_s}{(b/\delta)_c} \right\}^2 (1+n\beta) - 1 \right]^2 \quad \left(\text{且 } \frac{(b/\delta)_s}{(b/\delta)_c} \leq 1 \right)$$

$$\gamma = \frac{1}{n} [2n^2 (1+n\beta) - 1]^2 \quad \left(\text{且 } \frac{(b/\delta)_s}{(b/\delta)_c} > 1 \right)$$

$(b/\delta)_s$ ——实际设计时采用的宽厚比;

$(b/\delta)_c$ ——前项表 5.3.3 序号 5 中规定的最大宽厚比。

α ——加劲肋的长宽比;图 5.3.4—1 所示板的区域的长度 a 与板宽 b 的比 a/b ;

I ——加劲肋总截面对图 5.3.4—2 中 x 轴的惯性矩 (mm^4);

β ——一根加劲肋的截面积 A 与计算板的截面积的比, $A/(b\delta)$ 。

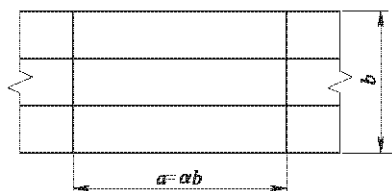


图 5.3.4 1 加劲肋长宽比简图

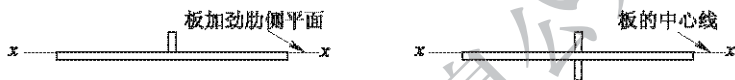


图 5.3.4 2 加劲肋截面计算简图

5.3.5 受拉焊接构件板件的最大厚度应根据钢材材质、拉应力的
大小及最低设计温度等因素确定。

6 构件连接

6.1 机械连接

6.1.1 在抗滑型高强度螺栓连接中,每个高强度螺栓的容许抗滑承载力应按下式计算:

$$P = m\mu_c N / K \quad (6.1.1)$$

式中 P ——高强度螺栓的容许抗滑承载力;

m ——高强度螺栓连接处的抗滑面数;

μ_c ——高强度螺栓连接的钢材表面抗滑移系数;

N ——高强度螺栓的设计预拉力;

K ——安全系数,取 1.7。

6.1.2 抗滑型高强度螺栓连接接头,顺轴力方向的双抗滑面连接的螺栓排数超过 6 排或单抗滑面连接的螺栓排数超过 4 排时,第一排螺栓的抗滑承载力应按式(6.1.2)检算,当不能满足时应予调整或将该排螺栓不计入连接螺栓的有效数量中。

$$0.30S_L < nm\mu_c N \quad (6.1.2)$$

式中 S_L ——螺栓接头在活载(包括冲击)作用下的轴向力;

n ——第一排螺栓总数。

6.1.3 高强度螺栓或铆钉的布置应使其与构件的轴线对称,避免偏心。

6.1.4 高强度螺栓或铆钉的容许间距应符合表 6.1.4 的规定。

6.1.5 机械连接时每排栓、钉数目不应少于下列规定:

1 一排螺栓时 2 个,一排铆钉时 3 个。

2 二排及二排以上螺栓或铆钉时,每排 2 个。

6.1.6 位于主要杆件角钢上的高强度螺栓(或铆钉)的直径不宜

超过角钢肢宽度的 $1/4$ 。困难条件下,肢宽 80 mm 的角钢肢上可用孔径 24 mm 的高强度螺栓(或铆钉),肢宽 100 mm 的角钢肢上可用孔径 26 mm 的高强度螺栓(或铆钉)。

表 6.1.4 高强度螺栓或铆钉的容许间距

尺寸名称		方 向		构件应力种类	容许间距		
					最大	最小	
栓、钉中心间距		沿对角线方向		拉力或压力		$3.5d$	
		靠边的行列			$7d_0$ 或 16δ 中之较小者	$3d$	
		中间行列	垂直应力方向		24δ		
			顺应力方向		拉力		24δ
					压力		16δ
栓、钉中心至构件边缘距离	裁切或滚压边缘	顺应力方向或沿对角线方向		拉力或压力	8δ 或 120 mm 中之较小者	$1.5d$	
	裁切边缘	垂直应力方向				$1.3d$	
	滚压边缘						

注: d_0 为栓(钉)直径(mm); d 为栓(钉)孔直径(mm); δ 为栓(铆)各部分中外侧钢板或型钢厚度(mm)。

6.1.7 主桁杆件及板梁翼缘用高强度螺栓或铆钉连接时,其栓(钉)数量应按连接杆件的承载能力计算,并应符合下列规定:

1 当腹杆为最小截面控制时,其连接栓(钉)数量可按 1.1 倍的杆件内力与 75% 的杆件净面积强度的较大值进行计算。

2 对于桥面系、联结系、缀板以及所有考虑安装影响的杆件可按内力计算并假定纵向力在栓(钉)群上是平均分布的。

3 板梁腹板拼接采用栓(钉)连接时,栓(钉)群的强度不应小于拼接处腹板净截面抗弯强度与该处最大剪力的组合强度。

6.1.8 轴向受力杆件的高强度螺栓或铆钉连接接头应符合下列规定:

1 杆件的肢与节点板偏心连接,且这些肢在连接范围内无缀

板相联系时,或杆件的肢仅一面有拼接板时,其栓(钉)总数应增加10%,并应计算各栓(钉)的受力。

2 主桁杆件及板梁翼缘的拼接板与被拼接部分间的连接高强度螺栓或铆钉的强度,在按净截面拼接时应不低于按净截面积计算的拼接板强度;在按毛截面或有效截面拼接时,应不低于按毛截面积或有效截面积计算的拼接板强度。

3 对于铆接杆件截面的个别部分不直接连接而是经过截面的其他部分连接者,其连接铆钉数目应予增加,隔一层板增加10%,隔两层或两层板以上时增加20%,但铆钉总数可不增加。

4 当隔着填板连接,而填板在接头范围以外有相当其面积1/4以上的铆钉时,连接铆钉数量可不增加。

6.1.9 铆钉最大铆合厚度不应大于钉孔直径的4.5倍。当用双铆钉枪、冲击式风顶或马蹄形铆钉机铆合时,则铆合厚度可增至孔径的5.5倍。超过上述厚度,每加厚2 mm,铆钉数量应增加1%。

6.1.10 销接接头的作用力可按被连接构件的内力计算,并符合下列规定:

1 无论受压或受拉的销接构件,均应按扣除销孔的净面积计算。

2 当销的长度大于直径的两倍时,对承受挠曲的销可按简支梁进行近似计算,并假定各集中力作用在和销相接触的各板条的轴线上。

6.1.11 销接接头中,带销孔的受拉构件,其销孔各部尺寸应满足下列规定:

1 垂直杆轴方向并通过销孔中心的净面积应比构件计算所需的净面积大40%。

2 由杆端到销孔边的截面积不应小于构件计算的截面积。

6.1.12 销与销孔直径之差,如无特殊需要,宜尽可能小。销体精加工部分的长度,应比被连接的杆件两外侧面间的距离长6 mm以上。销的两端应使用帽形螺母或带垫圈的螺母。

6.1.13 采用螺纹连接时,应对螺纹的抗剪强度、抗弯强度进行检

算,对螺杆按最小截面进行抗拉强度检算。

实体圆钢吊杆材质宜采用 35CrMo 圆钢。螺纹配合精度符合 GB/T 5796.4 中 8H/7e 要求。螺纹自第一螺扣至后面数排螺扣的螺高逐渐增大,形成纵向缓坡。螺齿形状和表面加工状态应按最大可能降低局部应力集中设置。螺纹后端应使用备母。

6.2 焊接连接

6.2.1 对于主要构件,不应使用间断焊接、塞焊和槽焊。

6.2.2 对接焊缝应保证焊缝根部完全熔透。在受拉和拉压接头中,尚应对焊缝表面顺应力方向进行机械加工。不等厚或不等宽的板采用对接焊缝时,应将厚(宽)板的一侧或双侧做成坡度,该坡度对于受拉或拉压接头不陡于 1:8,对于受压接头不陡于 1:4,并对焊缝表面顺应力方向进行机械加工,使之均匀过渡。不应使用具有上述厚度和宽度两种过渡并存的对接接头。

6.2.3 焊缝的计算厚度应符合下列规定:

1 对接焊缝的计算厚度为焊接杆件的最小厚度,不应计焊缝的加强高。

2 对于角焊缝的计算厚度,熔透的角接焊为焊接杆件的最小厚度;部分熔深的坡口角焊缝为焊缝根部到焊缝表面最小距离;不开坡口的角焊缝为 $0.7h_f$ (h_f 为焊脚尺寸,如图 6.2.3 所示)。

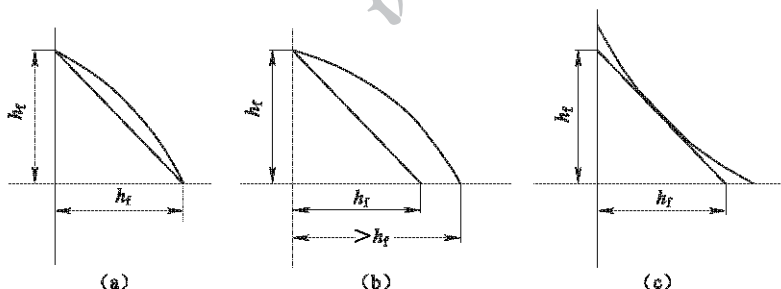


图 6.2.3 不开坡口的角焊缝截面图

6.2.4 焊缝的计算长度 l_f 应符合下列规定:

1 对接焊缝为具有设计焊缝厚度的焊缝长度。

2 采用起熄弧引板施焊的自动埋弧角焊缝,按实际长度计;其他角焊缝按实际长度减去 10 mm 计。

3 在承受轴向力的连接中,顺受力方向的角焊缝的最大计算长度不应大于焊脚尺寸的 50 倍,并不宜小于焊脚尺寸的 15 倍,且不应大于构件连接范围的长度。

6.2.5 角焊缝的作用力应按被连接构件的内力计算,并假定在焊缝计算长度上的剪应力是平均分布的。

6.2.6 用于 T 形截面的组合角焊缝应在杆件的两侧焊接。当抵抗横向变形得到保证时,可只进行一侧焊接。

6.2.7 经检算高强度螺栓连接不发生滑移时,可与焊接连接并用。

6.2.8 不开坡口的角焊缝的最小焊脚尺寸不应小于表 6.2.8 的规定。不开坡口的角焊缝的最小长度,自动焊及半自动焊时不宜小于焊缝厚度的 15 倍,手工焊时不宜小于 80 mm。

表 6.2.8 不开坡口的角焊缝最小焊脚尺寸(mm)

两焊接板中之较大厚度	不开坡口角焊的最小焊脚尺寸	
	凸形角焊缝	凹形角焊缝
10 及其以下	6	5
12~16	8	6.5
17~25	10	8
26~40	12	10

7 桥面系及联结系

7.1 桥面系

7.1.1 钢桥宜采用整体桥面,时速 160 km 及以下客货共线及重载铁路可采用明桥面。明桥面纵梁的中心距不得小于 2 m,桥枕与纵(板)梁应采用可靠的连接方式,不宜采用钩头螺栓连接。

7.1.2 栓、铆接纵梁在竖面内的弯矩、剪力和反力可按跨径等于横梁中距的简支梁计算。栓、铆接横梁在竖面内的弯矩、剪力和反力可按跨径等于主梁(主桁)中距的简支梁计算。

7.1.3 纵横梁腹板之间采用角钢连接时,应符合下列规定:

1 当设有鱼形板、牛腿或其他能承受支点弯矩的结构时,则纵梁与横梁的连接应能承受全部纵梁纵向力和支点弯矩,该弯矩可按纵梁跨中弯矩的 0.6 倍计算,而连接纵横梁腹板的角钢肢上的栓(钉)数量应按简支反力增加 10% 计算。

2 当不设承受支点弯矩的结构时,在连接于纵梁的竖角钢肢上的栓(钉)数量应按简支反力增加 20% 计算。在连接于横梁的竖角钢肢上的栓(钉)数量应按简支反力增加 40% 计算。

7.1.4 整体钢桥面结构检算时,桥面板作为纵梁(肋)、横梁(肋)的上翼缘应考虑剪力滞后的影响。钢桥面板参与作用的有效宽度 b_e 为 $(\lambda_1 + \lambda_2)$, 其中 λ_1 为一侧伸出部分的有效宽度, λ_2 为主梁中心线间距一半的有效宽度。 λ_1 、 λ_2 的取值应符合下列规定:

1 简支梁或连续梁跨中的 λ_1 、 λ_2 可按下列公式取值:

$$(1) \text{当 } \frac{b}{L} \leq 0.05 \text{ 时, } \lambda_1 \text{ 或 } \lambda_2 = b \quad (7.1.4-1)$$

$$(2) \text{ 当 } 0.05 < \frac{b}{L} < 0.30 \text{ 时, } \lambda_1 \text{ 或 } \lambda_2 = \left[1.1 - 2 \left(\frac{b}{L} \right) \right] b \quad (7.1.4-2)$$

$$(3) \text{ 当 } \frac{b}{L} \geq 0.30 \text{ 时, } \lambda_1 \text{ 或 } \lambda_2 = 0.15L \quad (7.1.4-3)$$

2 悬臂梁或连续梁中间支点处的 λ_1 、 λ_2 可按下列公式取值:

$$(1) \text{ 当 } \frac{b}{L} \leq 0.02 \text{ 时, } \lambda_1 \text{ 或 } \lambda_2 = b \quad (7.1.4-4)$$

$$(2) \text{ 当 } 0.02 < \frac{b}{L} < 0.30 \text{ 时, } \lambda_1 \text{ 或 } \lambda_2 = \left[1.06 + 4.5 \left(\frac{b}{L} \right)^2 - 3.2 \left(\frac{b}{L} \right) \right] b \quad (7.1.4-5)$$

$$(3) \text{ 当 } \frac{b}{L} \geq 0.30 \text{ 时, } \lambda_1 \text{ 或 } \lambda_2 = 0.15L \quad (7.1.4-6)$$

3 连续梁中间支点处和跨中之间的过渡部位的 λ_1 、 λ_2 可按表 7.1.4 的图中斜线过渡部分处的翼缘有效宽度可线性插值。

式中 b ——腹板间距的 1/2 或翼缘悬臂端为伸出部分的宽度,
 $b = b_2/2$ 或 b_1 , 如图 7.1.4 所示;

L ——等效跨径, 可按表 7.1.4 取值。

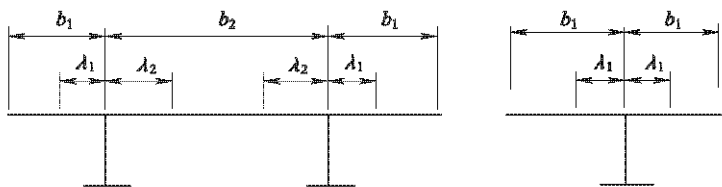


图 7.1.4 纵、横梁(肋)截面

表 7.1.4 翼缘有效宽度计算的等效跨径

类别	梁段号	腹板单侧翼缘有效宽度计算		等效跨径 L	计算图式
		符号	适用公式		
简支梁	①	λ_1 或 λ_2	(7.1.4 1) (7.1.4 2) (7.1.4 3)	L	
连续梁	①	λ_1 或 λ_2	(7.1.4 1) (7.1.4 2)	$0.8L_1$	
	⑤	λ_1 或 λ_2	(7.1.4 3)	$0.6L_2$	
	③	λ_1 或 λ_2	(7.1.4 4) (7.1.4 5)	$0.2(L_1 + L_2)$	
	⑦	λ_1 或 λ_2	(7.1.4 6)	$0.2(L_2 + L_3)$	
	② ④ ⑥ ⑧	线性内插			
悬臂梁	①	λ_1 或 λ_2	(7.1.4 4) (7.1.4 5)	$2L_1$	
	⑤	λ_1 或 λ_2	(7.1.4 6)	$2L_3$	
	③	λ_1 或 λ_2	(7.1.4 1) (7.1.4 2) (7.1.4 3)	$0.6L_2$	
	② ④	线性内插			

7.1.5 横梁与主梁(主桁)采用角钢连接时,应符合下列规定:

1 当不设承受支点弯矩的结构时,在连接于横梁的竖角钢肢上的栓(钉)数量,应按简支反力增加 10% 计算,在连接于主梁(主桁)的竖角钢肢上的栓(钉)数量,按支点反力增加 20% 计算;双线

和公铁两用梁应根据计算确定。

2 当设有能承受支点弯矩的结构时,则全部弯矩由该结构承受,而连接横梁和主梁(主桁)的竖角钢肢上的栓(钉)数量仍按支点反力增加 10% 计算。

7.1.6 横梁参与横向框架计算时,应符合以下规定:

1 横梁作为框架或半框架的一部分时,所承受的支点弯矩可按附录 B 的规定计算。

2 对于半穿式钢梁的横梁,应计入横向半框架的水平抗力所产生的附加弯矩,并应按主力组合进行验算。该水平抗力系作用于受压翼缘(或弦杆)的截面重心处,方向朝半框架内;大小为受压翼缘(或受压弦杆)纵向力的 1%。

3 当横梁兼作支承处横向联结系撑杆时,还应考虑其作为撑杆所受的力。

7.1.7 桥面系计算时,除必须按纵横梁单独受载的情况计算外,还应计算与主桁弦杆或主梁翼缘共同受力引起的纵梁轴向力和横梁弯矩,并应符合以下规定:

1 按共同受力情况计算时,可不考虑各构件不在同一高程的偏心影响,并可假定纵梁铰接于横梁、横梁固接于主梁(主桁)节点中心。

2 桥跨的平面纵向联结系不宜与纵梁直接连接。单线简支桥跨当其纵梁不直接与纵向联结系相连时,可按附录 C 所列方法近似计算。

3 纵梁的容许应力提高系数可采用 1.2;横梁的容许应力提高系数可采用 1.7。

4 当桥面系与主桁弦杆采用同一钢种而其连续长度又不超过 80 m 时,可不考虑桥面系与主桁共同作用的影响。

7.1.8 当容许应力增加 20% 时,桥面系应与主桁的承载能力基本一致。

7.2 联结系的设置

7.2.1 钢梁应加强纵横向联结,非整体桥面应设置上、下平面纵向联结系。主桁(主梁)的纵向联结系,不宜采用三角形桁架,其杆件宜采用工形截面。

7.2.2 钢梁的横向联结系设置应符合下列规定:

1 上承式板梁,除应在支承处设有加强的横向联结系外,还应在跨间设置横向联结系,其间距不宜大于 4 m。

2 下承式桁梁应设置合适的横向联结系及加强的桥门架。

3 半穿式梁(桁)应在每个横梁竖直平面内设置半框架。横向半框架的计算应考虑水平抗力的作用,可按第 7.1.6 条的规定进行计算。

4 纵梁的横向联结系应与梁的上、下翼缘连接。当板梁和纵梁的横向联结系焊于竖加劲肋时,加劲肋应与梁的受压翼缘相连。

7.2.3 桁式联结系的计算可假定节点为铰接以确定杆件的内力。纵向联结系杆件应计算自重引起的弯矩,该弯矩应按跨径等于杆件长度的简支梁计算。

7.2.4 纵向联结系应按横向水平力进行检算。当设置上、下平面纵向联结系时,横向水平力的分配系数应按表 7.2.4 采用。

表 7.2.4 横向水平力在纵向联结系的分配系数

横向水平力	桥面系所在平面	桥面系所在另一平面
主桁风力	0.5	0.5
桥面系风力、列车风力、车辆摇摆力、离心力	1.0	0.2

7.2.5 计算上平面纵向联结系在横向水平力作用下的内力,可将该联结系与桥门架或支承处横联相交的节点作为支点。

7.2.6 在交叉形和菱形的纵向联结系中,应计算由于主桁弦杆或主梁翼缘和横梁变形所引起的联结系杆件的内力。该内力与风力组合计算时,容许应力提高系数可采用 1.2。

7.2.7 由于主桁弦杆(主梁翼缘)和横梁变形引起的纵向联结系杆件内力可按下列公式计算:

1 交叉形纵向联结系斜杆内力可按下式计算:

$$N_d = \frac{N}{A} \times \frac{A_d \cos^2 \alpha}{1 + 2 \frac{A_d}{A_p} \sin^3 \alpha + \frac{A_d}{A} \cos^3 \alpha} \quad (7.2.7-1)$$

2 交叉形且横梁兼作撑杆时联结系斜杆内力可按下式计算:

$$N_d = \frac{A_d \left(\frac{N}{A} \cos^2 \alpha + 0.6 \sigma_b \sin^2 \alpha \right)}{1 + 4 \frac{A_d}{A_b} \sin^3 \alpha + \frac{A_d}{A} \cos^3 \alpha} \quad (7.2.7-2)$$

3 菱形纵向联结系斜杆内力可按下式计算:

$$N_d = \frac{N}{A} \times \frac{A_d \cos^2 \alpha}{1 + 2 \frac{A_d}{A_p} \sin^3 \alpha + \frac{A_d}{48I} B^2 \cos^3 \alpha + \frac{A_d}{A} \cos^3 \alpha} \quad (7.2.7-3)$$

4 交叉形、菱形纵向联结系撑杆内力可按下式计算:

$$N_p = (N_d^x + N_d^y) \sin \alpha \quad (7.2.7-4)$$

式中 N 、 A ——弦杆(翼缘)的内力(MN),毛截面积(m^2);

N_d 、 A_d ——联结系斜杆的内力(MN),毛截面积(m^2);

N_p 、 A_p ——联结系撑杆的内力(MN),毛截面积(m^2);

A_b ——横梁毛截面积(m^2);

I ——弦杆(翼缘)对竖轴的毛截面惯性矩(m^4);

α ——联结系斜杆与弦杆的交角;

B ——主桁(主梁)中距(m);

σ_b ——横梁按照竖向荷载和毛截面计算的最大纤维应力(MPa)。

当 σ_b 和 N 的符号相反时,可按不利的内力组合,假定式(7.2.7—2)中的 σ_b 或 N 为零。

7.2.8 位于压力弦杆平面内的联结系斜杆,除按第 7.2.4 条及第 7.2.6 条检算外,还应以两弦杆内力之和的 3% 作为节间剪力进行检算,其容许应力应与基本容许应力相同。

7.2.9 当采用菱形桁式的纵向联结系时,联结系与弦杆或翼缘连接的节点处,弦杆或翼缘截面所承受的作用于联结系平面的弯矩可按式 7.2.9 计算,附加弯矩仅在弦杆(翼缘)检算强度及疲劳时予以考虑,强度容许应力提高系数可采用 1.2。

$$M = \pm \frac{N_p \cdot d}{4} \quad (7.2.9)$$

式中 d ——联结系节间长度(m)。

7.2.10 当采用纵横梁体系的桥面结构时,跨度大于 48 m 的钢梁应在跨度的中部设制动联结系。跨度大于 80 m 的简支梁宜在跨间设置可使纵梁纵向移动的活动支承,其间距不宜大于 80 m。当纵梁连续长度大于 48 m 时,还应在其中部设制动联结系。

7.2.11 计算桥门架各杆件因受上平面纵向联结系横向反力产生内力时,可假定其腿杆下端为固定端。当桥门架的门楣为桁架时,其腿杆上弯矩零点的位置可按式计算:

$$l_c = \frac{c(c+2l)}{2(c+l)} \quad (7.2.11)$$

式中 l_c ——弯矩零点至下弦节点中心的距离(m);

l ——下弦节点中心至上弦节点中心的距离(m);

c ——下弦节点中心至门楣在腿杆上的下节点中心的距离(m)。

7.2.12 由单根型钢组成的拉杆,可不考虑杆件连接的偏心弯矩,其计算截面积应符合下列规定:

1 由单个角钢组成的杆件等于连接肢的截面积与 50% 非连接肢的截面积之和。

2 由单个槽形杆件(轧制的或组合的)用腹板连接及 T 形杆件用翼缘连接的计算截面积均减少 10%。

7.2.13 计算由单个角钢组成的联结系压杆应力,当仅以一个肢与节点板相连,且采用最小回转半径计算其长细比时,可不考虑杆件连接的偏心影响。

8 钢 板 梁

8.0.1 简支钢板梁横向宽度(两主梁中心距)不应小于跨度的 $1/15$, 且不应小于 2.2 m 。

8.0.2 支承桥枕的铆接板梁应至少有一层盖板覆盖上翼缘全长。其余盖板若在跨度范围内中断, 其实际截断点应伸出理论截断点之外, 且在此长度内所布置的铆钉不应少于三排。

8.0.3 焊接板梁的外层盖板中断时, 应伸出理论断点之外, 其延伸部分的长度由计算确定。外层盖板中断后, 应将板端沿板宽度方向加工成不陡于 $1:4$ 的斜边, 厚度方向加工成不陡于 $1:8$ 的斜坡, 末端宽度不宜小于 20 mm , 厚度可为焊脚高度加 2 mm 。

8.0.4 支承桥枕的铆接或焊接板梁, 上翼缘宽度不宜小于 240 mm 。焊接板梁翼缘板的伸出长度(从腹板中心算起)与厚度之比不应超过 10 。

8.0.5 板梁应在端支承和其他传递集中外力处设置成对的竖向加劲肋, 加劲肋的伸出肢应与梁的支承翼缘磨光顶紧。加劲肋的设置还应符合下列规定:

1 支承加劲肋的伸出肢宽厚比不应大于 12 。

2 支承加劲肋应按压杆设计, 其截面为加劲肋加每侧不大于 15 倍腹板厚的腹板, 计算长度为支承处横向联结系上、下两节点间距的 0.7 倍。

3 支承加劲肋应检算其伸出肢与翼板顶紧部分的支承压力。

8.0.6 简支板梁腹板中间竖向加劲肋和水平加劲肋的设置应符合下列规定:

1 当 $h/\delta \leq 50$ 时, 可不设置中间竖向加劲肋。其中, h 为板梁腹板计算高度, 焊接板梁为腹板全高, 铆接板梁为两翼缘角钢最

近铆钉线的距离; δ 为腹板厚。

2 当 $50 < h/\delta \leq 140$ 时,应设置中间竖向加劲肋,其间距 a 应小于等于 $950\delta/\sqrt{\tau}$,且不应大于 2 m 。其中, τ 为检算板段处的腹板平均剪应力, $\tau=V/h\delta$, V 为板段中间截面处的剪力。

3 当 $140 < h/\delta \leq 250$ 时,除设置竖向加劲肋外,还应在距压翼缘 $(1/4 \sim 1/5)h$ 处设置水平加劲肋。

4 当仅用竖向加劲肋加强腹板时,则成对设置的中间竖加劲肋的每侧宽度不应小于 $\left(\frac{h}{30} + 0.04\right)$,以 m 计。

5 当用竖向加劲肋和水平加劲肋加强腹板时,竖向加劲肋的截面惯矩不应小于 $3h\delta^3$;水平加劲肋的截面惯矩不应小于 $h\delta^3 \left[2.4 \left(\frac{a}{h}\right)^2 - 0.13\right]$,且不应小于 $1.5h\delta^3$ 。

6 加劲肋伸出肢的宽厚比不应大于 15。

7 当采用单侧加劲肋时,则其截面对于按腹板边线为轴线的惯矩不应小于成对加劲肋对腹板中心的截面惯矩。

8.0.7 板梁腹板的纵向拼接焊缝宜设在受压区。板梁中除交叉焊缝外,各焊缝间的距离不宜小于 10δ (δ 为腹板厚度)。加劲肋与腹板对接焊缝相交时,肋及焊缝均不应中断,可在焊缝上连续通过。

8.0.8 上承板梁检算主梁弯矩平面外稳定性时,其计算长度应为受压翼缘联结系节点间的距离。

8.0.9 板梁翼缘的拼接板净面积应较被拼接部分的净面积增大 10%。板梁腹板拼接时,应将拼接板成对地设置在腹板的两侧,拼接板总厚度应大于被拼接腹板的厚度,拼接板净截面抵抗矩应大于被拼接腹板的净截面抵抗矩。

8.0.10 桥枕直接铺设在板梁上翼缘时,一个轮重的压力分布长度,当计算板梁翼缘铆钉及翼缘焊缝时应取 1.0 m ;检算腹板局部稳定时应取 1.5 m (不计冲击力)。

9 钢 桁 梁

9.0.1 简支桁梁及连续桁梁的边跨,其宽度与跨度之比不宜小于 1/20,连续桁梁中跨的宽跨比不宜小于 1/25。

9.0.2 桁架杆件重心线应在各节点处交会于节点中心,否则应考虑偏心影响。支座铰点和弦杆中心线不在同一高程时,应考虑纵向力对节点的偏心影响。

9.0.3 桁架杆件的轴向力可按节点为铰接的假定计算。当主桁杆件截面高度与节长之比在连续桁梁中大于 1/15,简支桁梁中大于 1/10 时,应计算由于节点刚性引起的次应力。

9.0.4 在桁架中,与横梁、横联或横撑构成闭合框架的挂杆或立柱应计算其当横梁承受竖向荷载时所产生的轴向力和弯矩,弯矩可按附录 B 计算。

9.0.5 作为桥门架腿杆的主桁斜杆或竖杆应计算桥门架受横向力时所产生的轴向力和弯矩。计算假定和腿杆上弯矩零点位置可按第 7.2.11 条确定。当桥门架腿杆是主桁斜杆时,主桁弦杆应计算桥门架受横向力时所产生的腿杆轴向力的影响。

9.0.6 在设计时,应将基本容许应力增加 20%,桥跨结构中所有主要杆件承担超量活载的能力应基本一致。这些杆件由活载产生的内力,在计算主力组合时乘以活载发展系数 η 或按相应桥跨的检定载重进行检算。 η 可按下式计算:

$$\eta = 1 + \frac{1}{6}(\alpha_{\max} - \alpha) \quad (9.0.6)$$

式中 α ——杆件恒载内力与包括冲击力的活载内力之比;

$\alpha_{\max}$ ——该桁架所有弦杆中最大的 α 值。

9.0.7 杆件拼接应符合下列规定:

1 受拉杆件的拼接板净面积应较被拼接部分的净面积大 10%。

2 受压杆件的拼接板有效面积 A_m 应大于被拼接压杆有效面积的 10%。当在节点内拼接时,拼接板的受压容许应力折减系数可采用 0.9;在节点外拼接时,可与该压杆的受压容许应力折减系数相同。

3 受压杆件接头采用磨光顶紧时,接头处拼接板的毛面积可按被拼接部分的毛面积 50% 计算。

9.0.8 节点板任何连接截面的撕破强度应较各被连接杆件的强度大 10%。在检算时,其净面积上的容许应力应符合下列规定:

1 垂直于被连接杆件中线的截面部分应采用基本容许应力 $[\sigma]$ 。

2 与被连接杆件中线倾斜相交或平行的截面部分应采用 $0.75[\sigma]$ 。

9.0.9 主桁节点板应检算在主力作用下的法向应力和剪应力,容许应力分别为 $[\sigma]$ 及 $0.75[\sigma]$,可近似地按偏心受拉或偏心受压进行计算。

9.0.10 H 形杆件的排水孔直径不宜小于 50 mm。

9.0.11 箱形杆件盖板宜与腹板顶面齐平,端隔板外易积水处应设置排水孔。

10 支 座

10.0.1 钢梁宜采用钢支座,支座应便于检查维护。

10.0.2 活动支座的移动量不应小于容许应力提高 20% 后的活载(包括冲击力)所产生的变形与温度变化影响之和。非滑动侧支座板宜与钢梁相连。

10.0.3 固定支座应按承受全部纵向水平力计算,并不应小于活动端的支座摩擦阻力。检算活动支座各部件时,其纵向水平力的大小可按该活动支座的最大摩擦阻力 T 计算, T 可按下式计算:

$$T = fR \quad (10.0.3)$$

式中 R ——由恒载和静活载所生的最大支承反力(MN);

f ——活动支座的摩擦系数。

10.0.4 支座构造应符合下列规定:

1 支座应根据温度变化范围设置横向伸缩间隙以适应钢梁横向伸缩要求,并应能限制梁的横向移动。

2 为使荷载反力均匀分布于支座及支承垫石上,支座顺桥方向及横桥方向从钢梁支承底面起至支座控制截面、支座控制截面至支承垫石顶间应具有足够的传力厚度,反力的传布角度均不应大于 45° ,且活动支座底板厚度不应小于 40 mm。对大吨位支座反力的传布角度和底板厚度可另行确定。

3 与支座相连的钢结构支承底面应保持平整。

4 支座支承垫石混凝土强度等级不宜低于 C50,垫石高度应考虑安装、养护和支座更换的需要,垫石顶面四角高差不应大于 2 mm。

10.0.5 计算受拔力锚栓的锚固时,应按其内力增加 50% 计算。

附录 A 铁路桥梁用钢主要技术指标

A.0.1 桥梁钢化学成分对热轧或正火钢应符合表 A.0.1—1 的规定,对热机械轧制钢应符合表 A.0.1—2 的规定。

表 A.0.1—1 热轧或正火钢化学成分

牌 号	质量等级	化学成分(质量分数)/%										
		C	Si	Mn	Nb ^①	V ^①	Ti ^①	Als ^{②,③}	Cr	Ni	Cu	N
		不大于							不大于			
Q345q	D	0.18	0.55	0.90~ 1.60	0.005~ 0.060	0.010~ 0.080	0.006~ 0.030	0.010~ 0.045	0.30	0.30	0.30	0.008
Q370q	E			1.00~ 1.60								

注:1 ^① 钢中 Al、Nb、V、Ti 可单独或组合加入,单独加入时,应符合表中规定;组合加入时,应至少保证一种合金元素含量达到表中下限规定,且 $\omega(\text{Nb})$ 、 $\omega(\text{V})$ 、 $\omega(\text{Ti}) \leq 0.22\%$ 。

2 ^② 当采用全铝(Al₀)含量计算时,全铝含量应为 0.015%~0.050%。

表 A.0.1—2 热机械轧制钢化学成分

牌号	质量等级	化学成分(质量分数)/%											
		C	Si	Mn ^①	Nb ^②	V ^②	Ti ^②	Als ^{③,④}	Cr	Ni	Cu	Mo	N
		不大于							不大于				
Q345q	D	0.14	0.55	0.90~	0.010~	0.010~	0.006~	0.010~	0.30	0.30	0.30		0.008
	E			1.60									
Q370q	D			1.00~									
	E	1.60											

续表 A.0.1—2

牌号	质量等级	化学成分(质量分数)/%											
		C	Si	Mn ^①	Nb ^②	V ^②	Ti ^②	Als ^③	Cr	Ni	Cu	Mo	N
		不大于							不大于				
Q420q	D	0.11	0.55	1.00~	0.010~	0.010~	0.006~	0.010~	0.50	0.30		0.20	0.008
Q500q	E			1.70	0.090	0.080	0.030	0.045	0.80	0.70		0.30	

注:1 ^①经供需双方协议,锰含量最大可到2.00%。

2 ^②钢中Al、Nb、V、Ti可单独或组合加入,单独加入时,应符合表中规定;组合加入时,应至少保证一种合金元素含量达到表中下限规定,且 $\omega(\text{Nb})$ 、 $\omega(\text{V})$ 、 $\omega(\text{Ti}) \leq 0.22\%$ 。

3 ^③当采用全铝(Al)含量计算时,全铝含量应为0.015%~0.050%。

A.0.2 桥梁钢力学性能应符合表 A.0.2 的规定。

表 A.0.2 钢材力学性能

牌 号	质量等级	厚度 (mm)	屈服点	抗拉强度	伸长率	V 型冲击功 (纵向)		时效 (J)	180°弯曲试验 钢材厚度 (mm)	
			σ_s (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	温度(℃)	(J)		≤ 16	> 16
			不 小 于							
Q235q	D	≤ 35	235	400	26	20	120	34	$d-1.5a$	$d-2.5a$
Q345q	D	≤ 50	345	490	20	20	120	47	$d-2a$	$d-3a$
	E	$50 < \text{且} \leq 100$	335	490	20	40				
Q370q	D	≤ 50	370	510	20	20	120	47		
	E	$50 < \text{且} \leq 100$	360	510	20	40				
Q420q	D	≤ 50	420	540	19	20	120	47		
	E	$50 < \text{且} \leq 100$	410	540	19	40				
Q500q	D	≤ 50	500	630	18	20	120	47		
	E	$50 < \text{且} \leq 100$	480	630	18	40	120	47		

A.0.3 桥梁钢的最大碳当量应符合表 A.0.3 的要求。

碳当量计算公式：

$$CEV = \left(C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \right) \times 100\% \quad (A.0.3)$$

表 A.0.3 最大碳当量表

牌号	Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
碳当量 CEV	0.43%	0.44%	0.46%	0.50%

A.0.4 钢板化学成分允许偏差按现行《钢的成品化学成分允许公差》GB/T 222 的规定执行。

A.0.5 包装标志及质量证明书应按现行《钢板和钢带包装、标志及质量证明书的一般规定》GB/T 247 和《型钢验收、包装、标志及质量证明书的一般规定》GB/T 2101 的规定执行。

A.0.6 凡本技术指标未尽事宜按照现行《桥梁用结构钢》GB/T 714 的标准执行。

附录 B 横梁面内闭合框架在横梁受竖向荷载时的结点弯矩计算

B.0.1 单(双)线上承及下承桁梁横梁面内闭合框架在横梁受竖向荷载时的结点弯矩应按下列公式计算:

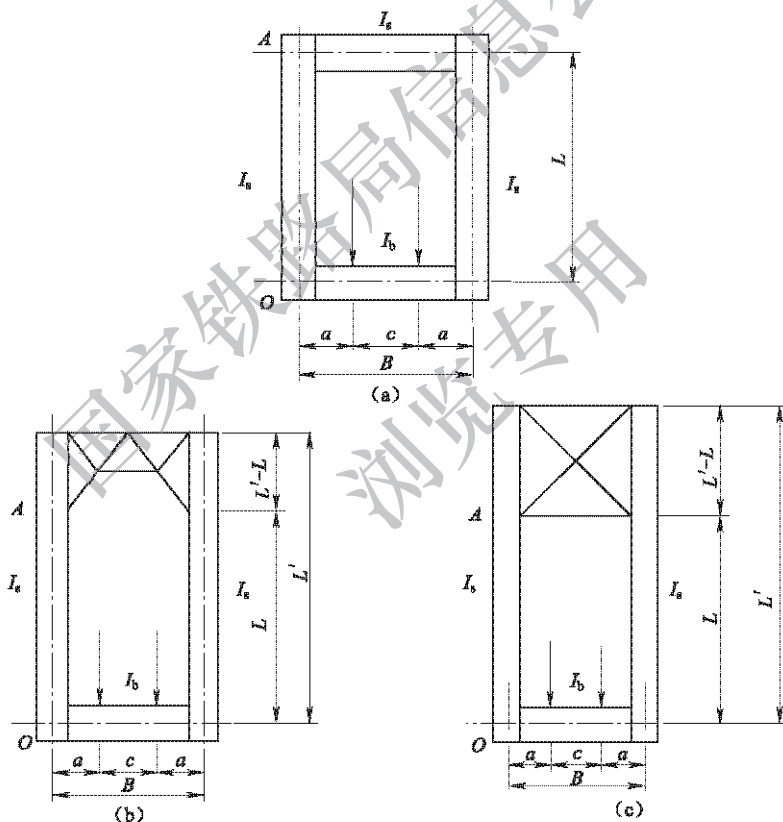


图 B.0.1 横梁面内闭合框架在横梁受竖向荷载时的结点弯矩

结点 O 处:
$$M_O = -\frac{3}{(2-0.5\beta)\frac{i_b}{i_s}+3}\mu M \quad (\text{B. 0. 1—1})$$

结点 A 处:
$$M_A = -\frac{1}{2}\beta M_O \quad (\text{B. 0. 1—2})$$

式中 M ——横梁按简支计算的跨中最大弯矩($\text{MN} \cdot \text{m}$);

μ ——横梁按简支计算的平均弯矩与跨中最大弯矩之比;
对横梁恒载及双线桥纵梁反力所产生弯矩,取 $\mu = 2/3$;对单线桥纵梁反力所产生弯矩,取 $\mu = (a + c)/B$;

β ——图 B. 0. 1(a)所示框架 $\beta = \frac{1}{1+1.5\frac{i_s}{i_v}}$, 图 B. 0. 1(b)、

图 B. 0. 1(c)所示框架 $\beta = L/L'$;

i_v, i_b, i_s ——框架横撑、横梁与竖杆在框架面内的刚度系数:

$$i_v = \frac{EI_v}{B}, i_b = \frac{EI_b}{B}, i_s = \frac{EI_s}{L};$$

E ——钢的弹性模量(MPa);

I_v, I_b, I_s ——框架横撑、横梁与竖杆在框架面内的惯性矩(m^4);

L ——图 B. 0. 1(a)中为横梁与撑杆间的距离(m),图 B. 0. 1(b)、图 B. 0. 1(c)中为横联门楣最下端节点至横梁重心轴之间的距离(m);

L' ——上弦节点中心至横梁重心轴的距离(m);

B ——主桁中心距离(m)。

附录 C 单线简支钢桁梁的纵、横梁 由于弦杆变形引起的内力计算

C.0.1 竖向载重产生的纵梁轴向力应按下列式计算：

$$N_m = tm \left(1 - \frac{m-1}{n} \right) \frac{K \cdot \sigma_{\text{ver}} \cdot L}{1 + \xi} \quad (\text{C.0.1})$$

最大的 N_m 发生在跨度中间(或纵梁两断缝中间), 即 n 为偶数时, $m = n/2$; n 为奇数时, $m = (n-1)/2$ 。

式中 L ——跨长(当纵梁间无断缝时)或纵梁两断缝间长度(m);

n ——在 L 长度内桥面系节间总数;

m ——从跨端或段端起, 进行验算的节间的序号;

$$K = \frac{3IB}{a^3(2c+a)};$$

I ——横梁对竖轴的毛惯性矩(m^4);

B, a, c ——图 C.0.1 所示的各种尺寸(m);

$\sigma_{\text{ver}} = \frac{\sum \frac{S^0}{A} d}{L}$ ——不考虑共同受力时在 L 长度内桥面系所在平面的桁梁弦杆应力的平均值(MPa);

S^0 ——不考虑共同受力时, 各弦杆在竖向载重下的内力, 以 MN 计, 计算时对于所有弦杆应采用相同的活载位置, 但为简化计算起见, S^0 可采用各弦杆内力影响线最不利的加载情况下的数值;

A ——桁架梁各弦杆的毛截面积(m^2);

d ——桁架梁节间长度(m);

$$\xi = \frac{K(n+1)(n+2)}{6n} \left(\frac{L}{A_{\text{平均}}} + \frac{L}{A_z} \right)$$

$A_{\text{平均}}$ ——在 L 长度内桁架梁弦杆毛面积的平均值(m^2)；

A_z ——纵梁毛截面积(m^2)；

t ——考虑连接处松动沉落度的系数,对用铆钉连接的纵梁为 0.7,用高强度螺栓连接的纵梁用 0.8。

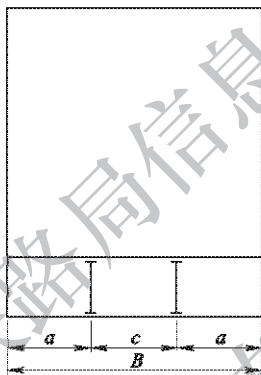


图 C.0.1 竖向载重产生的纵梁轴向力计算

C.0.2 两纵梁之间的横梁截面因水平面内的挠曲而产生的应力,应按下式计算:

$$\sigma_y = 1.5t \frac{I}{I_j} \left(1 - \frac{2m-2}{n} \right) \frac{\sigma_{\text{平均}} Lb}{a(2c+a)(1+\xi)} \quad (\text{C.0.2})$$

最大的 σ_y 应力,发生在端横梁(即 $m=1$)上。

式中 m ——从跨端或段端数起,进行检算的横梁的序号;

b ——横梁翼缘宽度(m);

I_j ——横梁对竖向轴的净惯性矩(m^4);

其余符号意义同第 C.0.1 条。

附录 D 焊接接头超声波探伤质量要求

D.0.1 焊接接头超声波探伤方法和探伤结果分级应满足本附录的要求,并应符合《焊缝无损检测 超声检测技术、检测等级和评定》GB/T 11345—2013 的规定。

D.0.2 超声波探伤的距离—波幅曲线应符合表 D.0.1 的规定。评定线以上至定量线以下为弱信号评定区(Ⅰ区);定量线至判废线为长度评定区(Ⅱ区);判废线及以上区域为判废区(Ⅲ区)。

表 D.0.1 距离—波幅曲线灵敏度

焊缝质量等级		板厚 (mm)	判废线	定量线	评定线
对接焊缝 Ⅰ、Ⅱ级		10~46	$\phi 3 \times 40-6$ dB	$\phi 3 \times 40-14$ dB	$\phi 3 \times 40-20$ dB
		$>46 \sim 80$	$\phi 3 \times 40-2$ dB	$\phi 3 \times 40-10$ dB	$\phi 3 \times 40-16$ dB
全熔透角 焊缝Ⅰ级		10~80	$\phi 3 \times 40-4$ dB	$\phi 3 \times 40-10$ dB	$\phi 3 \times 40-16$ dB
			$\phi 6$	$\phi 3$	$\phi 2$
角焊缝 Ⅱ级	部分熔透 角焊缝	10~80	$\phi 3 \times 40-4$ dB	$\phi 3 \times 40-10$ dB	$\phi 3 \times 40-16$ dB
	贴角 焊缝	10~25	$\phi 1 \times 2$	$\phi 1 \times 2-6$ dB	$\phi 1 \times 2-12$ dB
		$>25 \sim 80$	$\phi 1 \times 2-4$ dB	$\phi 1 \times 2-4$ dB	$\phi 1 \times 2-10$ dB

注:1 角焊缝超声波探伤采用铁路钢桥制造专用柱孔标准试块或与其校准过的其他孔形试块。

2 $\phi 6$ 、 $\phi 3$ 、 $\phi 2$ 表示纵波探伤的平底孔参考反射体尺寸。

D.0.3 缺陷评定应符合下列规定:

1 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹等危害性缺陷特征,如有怀疑时应采取改变探头角度、增加探伤面、观察动态波形、结合结构工艺特征作判定,如对波形不能准确判断时,应辅以

其他检验作综合判定。

2 最大反射波幅位于长度评定区(Ⅱ区)的缺陷,其指示长度小于 10 mm 时,按 5 mm 计。

3 相邻两缺陷各向间距小于 8 mm 时,两缺陷指示长度之和作为单个缺陷的指示长度。

D.0.4 检验结果的等级分类应符合下列规定:

1 最大反射波幅位于长度评定区(Ⅱ区)的缺陷,根据缺陷指示长度和多个缺陷的累计长度按表 D.0.3 的规定进行分级。满足表 D.0.3 质量等级要求的判为合格;不满足表 D.0.5 质量等级要求的判为不合格。

表 D.0.3 长度评定区缺陷等级评定(mm)

评定等级	板厚 t	单个缺陷指示长度	多个缺陷的累积指示长度
对接焊缝Ⅰ级	10~80	$t/4$,最小可为 8	在任意 $9t$ 焊缝长度范围不超过 t
对接焊缝Ⅱ级		$t/2$,最小可为 10	在任意 $4.5t$ 焊缝长度范围不超过 t
全熔透角焊缝		$t/3$,最小可为 10	
角焊缝Ⅱ级		$t/2$,最小可为 10	

2 最大反射波幅不超过评定线的缺陷均评为Ⅰ级。

3 反射波幅位于弱信号评定区(Ⅰ区)的非裂纹性缺陷均评为Ⅰ级。

4 超声波探伤判定为裂纹、未熔合、未焊透(对接焊缝)等危害性缺陷者,应判为不合格。

5 反射波幅位于判废区(Ⅲ区)的缺陷,无论其指示长度如何,应判为不合格。

D.0.5 不合格的缺陷应予返修,返修区域修补后,返修部位及补焊受影响的区域,应按原探伤条件进行复验,复探部位的缺陷应按本附录评定。

附录 E 焊缝外观质量要求

E.0.1 所有焊缝必须在全长范围内进行外观检查,不得有裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑和焊瘤等缺陷,并应符合表 E.0.1 的规定。

表 E.0.1 焊缝外观质量标准(mm)

序号	项目	焊 缝 种 类	质 量 标 准
1	气孔	横向对接焊缝	不允许
		纵向对接焊缝、主要角焊缝	直径小于 1.0,每米不多于 3 个,间距不小于 20
		其他焊缝	直径小于 1.5,每米不多于 3 个,间距不小于 20
2	咬边	受拉杆件横向对接焊缝、桥面板与弦杆角焊缝、横梁接头板与弦杆角焊缝、桥面板与 U 形肋角焊缝(桥面板侧)、竖向加劲肋角焊缝(腹板侧受拉区)	不允许
		受压杆件横向对接焊缝及竖加劲肋角焊缝(腹板侧受压区)	≤ 0.3
		纵向对接焊缝、主要角焊缝	≤ 0.5
		其他焊缝	≤ 1.0
3	焊脚尺寸	主要角焊缝	h_1^0
		其他角焊缝	$h_1^{-1.0}$ 手工焊角焊缝全长的 10% 允许 ^{1.0}
4	焊波	对接焊缝和角焊缝	≤ 2.0 (任意 25 mm 范围高低差)

续表 E.0.1

序号	项 目	焊 缝 种 类	质 量 标 准
5	余高	不铲磨余高的对接焊缝	≤ 2.0 (焊缝宽度 $b \leq 20$)
			≤ 3.0 (焊缝宽度 $b > 20$)
	有效厚度	T形角焊缝	凸面角焊缝有效厚度应不大于规定值 2.0, 凹面角焊缝应不小于规定值 0.3
6	余高铲磨后的表面	横向对接焊缝 (桥面板除外)	不高于母材 0.5
			不低于母材 0.3
			粗糙度 $50 \mu\text{m}$

本规范用词说明

执行本设计规范条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

(1)表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”;

反面词采用“不宜”。

(4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。